

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie**

**Návrh řešení rozdílné velikosti výrobků  
z CBN při vysokotlakové syntéze**

**Solution of Different CBN Products  
Dimensions by High-pressure Synthesis**

Student:

Marek Diviš

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Ivan Mrkvica

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Diviš**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: **Návrh řešení rozdílné velikosti výrobků z CBN při vysokotlaké syntéze**  
**Solution of Different CBN Products Dimensions by High-pressure Synthesis**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika řešeného problému.
2. Problematika dodržení velikosti a tvaru výrobku při vysokotlaké syntéze.
3. Návrh na řešení daného problému.
4. Testování navrhovaného řešení.
5. Vyhodnocení výsledků a doporučení pro praktickou aplikaci.

Seznam doporučené odborné literatury:


MRKVICA, M. *Přípravky a obráběcí nástroje I. díl Řezné nástroje*, 4. vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2015, 194 s. ISBN 978-80-248-3775-8.  
MRKVICA, I. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů*, 3. vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2016, 148 s. ISBN 978-80-248-3936-3.  
STEPHENSON, D.A., AGAPIOU, J.S. *Metal Cutting Theory and Practice*, third edition, Boca Raton, London, New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2016, 948 s. ISBN 978-1-4665-8753-3.  
KÖNIG, W. *Fertigungsverfahren Band 1 Drehen, Fräsen, Bohren*, 3. Auflage, Düsseldorf: VDI Verlag, 1990, 409 s. ISBN 3-18-400843-6.  
TÖNSHOFF, K.H. *Werkzeuge für die moderne Fertigung*, Ehningen bei Böblingen: expert -Verlag, 1993, 226 s. ISBN 3-8169-0766-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Dr. Ing. Ivan Mrkvica**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019

  
doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. května 2019.

  
.....

Podpis student

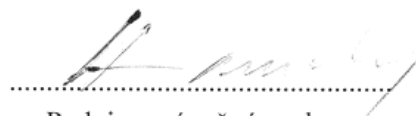
Prohlášení spolupracující osoby

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 6, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských studijních programech VŠB-TU Ostrava.

Spolupracující osoba: BONAR a.s., Čsl. armády 1018/58, 787 01 Šumperk, IČO 25131427

Jméno a příjmení oprávněné osoby: František Homola

V Ostravě dne 20. 5.2019




Podpis oprávněné osoby

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo)
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně k své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z jejich strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019.



.....

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Marek Diviš

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Raškov 172, Bohdíkov, 789 64

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu prof. Dr. Ing. Ivanovi Mrkvicovi za odborné vedení práce a cenné rady a také panu Ing. Jiřímu Minářovi z firmy BONAR a.s. za věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

## **Anotace bakalářské práce**

DIVIŠ, Marek. *Návrh řešení rozdílné velikosti výrobků z CBN při vysokotlaké syntéze: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojní metrologie, 2019, 53 s. Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Ivan Mrkvica.

Bakalářská práce je zaměřená na rozdílné velikosti výrobků CBN při procesu vysokotlaké syntézy - slinování. V této práci spolupracuji s firmou BONAR a.s. Šumperk. Cílem práce je najít vhodný pomocný materiál, který nebude mít tak velký vliv na velikost výrobku vysokotlaké syntézy. V kapitolách jsou uvedené testové zkoušky různých pomocných materiálů a jejich vliv na velikost výrobku CBN. V závěru je vyhodnocený nejvhodnější pomocný materiál pro vysokotlakou syntézu.

## **Annotation of bachelor thesis**

DIVIŠ, Marek. *Solution of Different CBN Products Dimensions by High-pressure Synthesis*. Ostrava VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2019, 53 s. Thesis head: prof. Dr. Ing. Ivan Mrkvica.

Bachelor thesis is focused on different sizes of products made of CBN during the process of High-pressure synthesis sintering. In the process of making this thesis was present very close cooperation with the BONAR a.s. Šumperk company. The aim of the thesis is to find the most suitable auxiliary material, which will provide the smallest possible changes of size and shape of the products made by High-pressure synthesis. In the following chapters are described experimental tests of various auxiliary materials and their impact on the size of the final products of CBN. The conclusion includes summary of the experiments and description of the most suitable auxiliary material for High-pressure synthesis.

# Obsah

Seznam použitého značení.....	10
1 ÚVOD – cíl bakalářské práce .....	11
2 PROFIL BONAR a.s. ....	12
2.1 BONAR a.s. ....	12
2.2 Sortiment .....	13
2.3 Technologie.....	15
3 Obecný popis daného problému .....	16
3.1 Vysokotlaká syntéza.....	16
3.2 Technologie vysokotlaké syntézy – slinování CBN .....	17
3.3 Výrobky vysokotlaké syntézy při slinování CBN.....	20
3.4 Problematika odlišné velikosti výrobku CBN při slinování .....	25
3.5 Stanovení možných příčin.....	26
4 Návrh řešení.....	27
4.1 Grafit .....	28
4.2 Stanovení možných typů náhrad .....	29
5 Praktické testování .....	30
5.1 Příprava pro praktické testování.....	30
5.2 Testování výrobků při slinování CBN a měření testovacích výrobků .....	30
5.3 Naměřené hodnoty testovacích výrobků.....	34
5.3.1 Výsledky měření pro grafit typu A .....	34
5.3.2 Výsledky měření pro grafit typu B .....	36
5.3.3 Výsledky měření pro grafit typu C .....	38
5.4 Podmínky hodnocení testovacích výrobků .....	39
5.5 Vyhodnocení výsledků měření testovacích výrobků pro grafit typu A .....	40
5.6 Vyhodnocení výsledků měření testovacích výrobků pro grafit typu B.....	43
5.7 Vyhodnocení výsledků měření testovacích výrobků pro grafit typu C.....	46
6 Vyhodnocení a doporučení k praktické aplikaci.....	49



7	Závěr .....	52
8	Seznam použité literatury .....	53

## Seznam použitého značení

<b>ZKRATKA</b>	<b>NÁZEV</b>	<b>JEDNOTKA</b>
CBN	kubický nitrid boru	
VBD	vyměnitelných břitových destiček	
PCBN	polykrystalický kubický nitrid bóru	
PKD	polykrystalický diamant	
d	průměr břitové destičky	[mm]
s	tloušťka břitové destičky	[mm]
r	rádius břitové destičky	[mm]
l	délka řezné hrany	[mm]

## **1 ÚVOD – cíl bakalářské práce**

V bakalářské práci spolupracuji s firmou BONAR a.s. Šumperk. Firma mi poskytla kompletní materiály a informace k danému problému.

Cílem této bakalářské práce je řešení rozdílné velikosti výrobku u procesu vysokotlaké syntézy – slinování a návrh možných úprav v technologii slinování.

V úvodu práce je náhled do výroby firmy BONAR a.s., která se zabývá výrobou vysoce tvrdého materiálu - kubického nitridu boru technologií vysokotlaké syntézy při slinování. V další části je obecně charakterizován princip vysokotlaké syntézy. Dále je charakterizován princip vysokotlaké syntézy při slinování CBN a pojiva včetně popisu technologie a příkladů výrobků.

V další části je řešen problém rozdílné rozměrové velikosti výrobku. Zabývám se pomocnými materiály a stanovením možných typů náhrad materiálů. V následující části je řešeno topné tělísko z grafitu a praktické testování. Následně bylo provedeno praktické měření testovacích výrobků včetně vyhodnocení vzorků.

Na základě vyhodnocených údajů byla navržena úprava v technologii stanovením nejvhodnějšího pomocného materiálu pro výrobu vysokotlaké syntézy při slinování ve firmě BONAR a.s.

## 2 PROFIL BONAR a.s.

### 2.1 BONAR a.s.

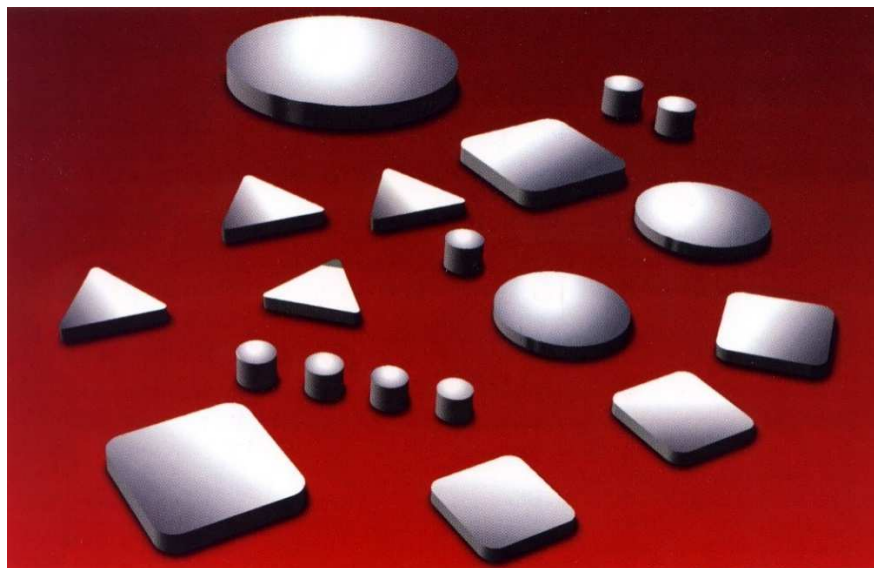


Obrázek 1 - Hlavní budova firmy BONAR a.s. [1]

Firma BONAR a.s. byla založena v roce 1997 se sídlem v Šumperku. Navazuje na více než padesátiletou tradici výroby společnosti PRAMET Šumperk. Zabývá se vývojem a výrobou obráběcích nástrojů z materiálu polykrystalický kubický nitrid boru a polykrystalický diamant. Těmito materiály osazuje břitové destičky a nástroje pro obrábění. Dále také nabízí možnost renovace a ostření břitových destiček a nástrojů. Mezi hlavní konkurenty patří DEE BEERS Jižní Afrika, General Electric USA, SUMITOMO Japonsko. Firma BONAR a.s. vlastní certifikáty typu ČSN EN ISO 9001: 2001 od roku 2007 a byla certifikována certifikačním auditem společnosti TÜV SÜD Česká republika [1].

Firma BONAR a.s. v roce 1997 navázala spolupráci s Vysokou školou chemicko-technologickou v Praze. Spolupracuje také s Ústavem fyziky plazmatu AV ČR a Výzkumným a zkušebním a leteckým ústavem, a.s. Předmět spolupráce spočívá ve výrobě, testování a vyhodnocení vzorků ze zkoumaných materiálů [1].

## 2.2 Sortiment



Obrázek 2 - Přehled výrobků BONAR a.s. [1]

BONAR a.s. se zabývá především výrobou nástrojů a vyměnitelných břitových destiček (dále jen VBD) s řeznou hranou ze supertvrdých materiálů. Společnost vyrábí tyto materiály, jednak jako monolity, jednak jako sendviče, kdy je supertvrdý materiál napájen pouze na řezné hraně. Monolitem je téměř vždy VBD z materiálu, který je obchodně označován jako BORONID, což je polykrystalický kubický nitrid boru (dále jen PCBN) vyrobený firmou BONAR a.s. (proces výroby - vysokotlaká syntéza - slinování). Tyto destičky mohou mít jakýkoliv tvar. Nástroje a VBD v provedení sendvič mohou být osazeny buď PCBN nebo PKD [1].

Společnost BONAR a.s. se zabývá také renovací a přebroušením nástrojů a VBD dle požadavků zákazníka.

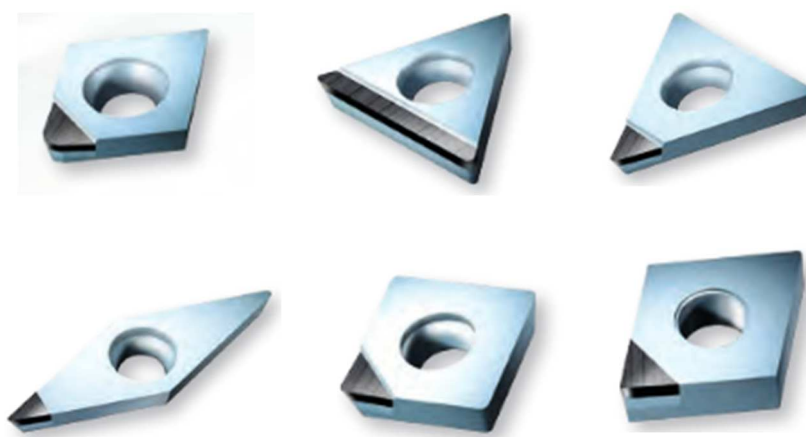
Firma nabízí tři typy vyměnitelných břitových destiček:

- destičky monolitní PCBN,
- destičky osazené - pájené s PCBN,
- destičky osazené - pájené s PKD.

Osazené výrobky jsou vyráběny indukčním pájením nebo pájením v ochranné atmosféře [1].



Obrázek 3 - Destičky v normovaném monolitním provedení [1]



Obrázek 4 - Destičky v normovaném osazeném provedení [1]



Obrázek 5 - Nástroje v normovaném osazeném provedení [1]

## 2.3 Technologie

Společnost BONAR a.s. má vlastní technologii vysokotlaké syntézy. Na ni navazuje technologie kontroly materiálu a následně technologie výrobních procesů břitvých destiček a nástrojů.

Výrobní procesy jsou rozděleny na řezání vlastních materiálů, pájení, broušení, měření a výstupní kontrolu.

Společnost BONAR a.s. používá k řezání materiálu PCBN a PKD laserovou technologii. Materiál je řezán do tvarů dle požadavků zákazníka.

K pájení je použito indukční pájení nebo pájení v ochranné atmosféře.

Broušení materiálu PCBN a PKD a konečné úpravy řezných hran destiček a nástrojů je aplikováno CNC obráběcích center.

Měření v průběhu výroby a konečná kontrola destiček a nástrojů je realizována na přístrojích od společností Mitutoyo, Zoller a Alicona.



Obrázek 6 – Měřicí přístroje [1]

### 3 Obecný popis daného problému

#### 3.1 Vysokotlaká syntéza

Diamant je nejtvrdším známým materiálem v rozmezí 70-150 GPa dle Vickerse. Diamant vyniká jak vysokou tepelnou vodivostí, tak i elektrickými izolačními vlastnostmi a velká pozornost byla věnována nalezení praktických uplatnění tohoto materiálu [2].

Vysokotlaká syntéza diamantu v roce 1953 ve Švédsku a v roce 1954 v USA, umožněná vývojem nových přístrojů a technik, se stala milníkem při syntéze umělých supertvrdých materiálů. Syntéza jasně ukázala potenciál vysokotlakých aplikací pro průmyslové účely a podnítila rostoucí zájem o tuto oblast. Čtyři roky po první syntéze umělého diamantu byl získán kubický nitrid boru, který byl druhou nejtvrdší pevnou látkou [2].

Kubický nitrid boru byl poprvé syntetizován v roce 1957 Robertem Wentorfem u General Electric [2].

Kubický nitrid boru - je zvláště tvrdý řezný materiál, jehož tvrdost překonává již jen diamant. CBN má vynikající výkonnost, vykazuje mimořádnou tvrdost, vysokou tvrdost za tepla i při extrémních teplotách (2000 °C), velkou odolnost proti abrazivnímu opotřebení a při obrábění má vždy dobrou chemickou stabilitu. CBN je relativně křehký, je houževnatější a tvrdší než keramika, ale nemá tak dobrou tepelnou a chemickou odolnost. Přes svou vysokou cenu našel uplatnění při soustružení kalených součástí, které se dosud brousily [3].

Ocelové výkovky, kalená ocel a litina, povrchově kalené obrobky, slinované materiály na bázi kobaltu a železa a žáruvzdorné slitiny patří do oblasti obrábění nástroji CBN [3].

CBN se vyrábí při vysokých teplotách a tlacích, jejich působením se dosáhne spojení kubických krystalů boru s keramickým nebo kovovým pojivem. Neuspořádané částice tvoří velmi hustou polykrystalickou strukturu. Krystal CBN je velmi podobný krystalu syntetického diamantu. Vlastnosti řezného materiálu CBN můžeme obměňovat změnou velikosti krystalu, obsahu a druhu pojiva, s cílem získat různé varianty tohoto řezného materiálu. Nízký obsah CBN v kombinaci s keramickým pojivem vytváří větší odolnost proti opotřebení a chemickou stabilitu, takže tento druh řezného materiálu je pak zvláště vhodný k obrábění tvrdých ocelových součástí. Vysoký obsah CBN zajišťuje větší



houževnatost a je vhodný v první řadě pro obrábění tvrdých druhů slitin a žáruvzdorných slitin [3].

Má-li řezný materiál CBN keramickou vazbu, získává lepší chemickou stabilitu a odolnost proti opotřebení, má však menší houževnatost. Připájením materiálu CBN na nosič ze slinutého karbidu získáváme houževnatou podporu relativně křehkého břitu [3].

CBN je používán pro obrábění materiálů o tvrdosti nad 50 HRC. Jsou-li obrobky příliš měkké, musíme počítat s mimořádně velkým opotřebením břitu - čím tvrdší je materiál, tím menší je opotřebení břitu nástroje. S břitý CBN lze dosáhnout vynikající kvality obráběného povrchu, která tak ze soustružení činí zajímavou alternativu k obrábění broušením [3].

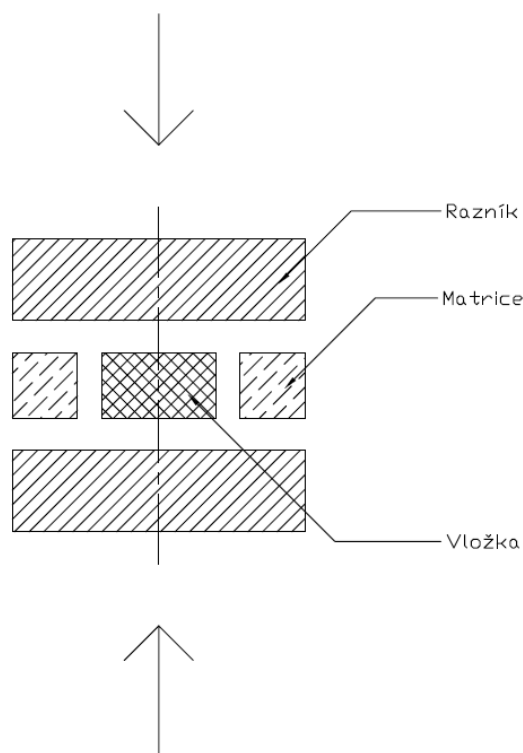
### **3.2 Technologie vysokotlaké syntézy – slinování CBN**

Dnešní trendy ve výrobě nástrojů vyžadují vývoj a aplikaci nových supertvrdých materiálů na bázi nitridu boru. Vysokotlaká syntéza je v současnosti jedinou metodou, která umožňuje růst krystalů kubického nitridu boru.

Současná technologie pro výrobu polykrystalických supertvrdých materiálů je založena na slinování prášků kubického nitridu boru s pojivky při tlacích nad 5GPa a teplotách v rozmezí 1400 až 1900 °C uvnitř vysokotlaké komory.

BONAR a.s. provozuje technologii vysokotlaké syntézy kubického nitridu boru ve výrobním závodě v Šumperku.

Technologie je provozována na zařízeních, které umožňují dosáhnout požadované tlaky a teploty pro růst krystalů. Vysokých tlaků se dosáhne za působení horních a spodních ocelových razníků a okolní matrice.

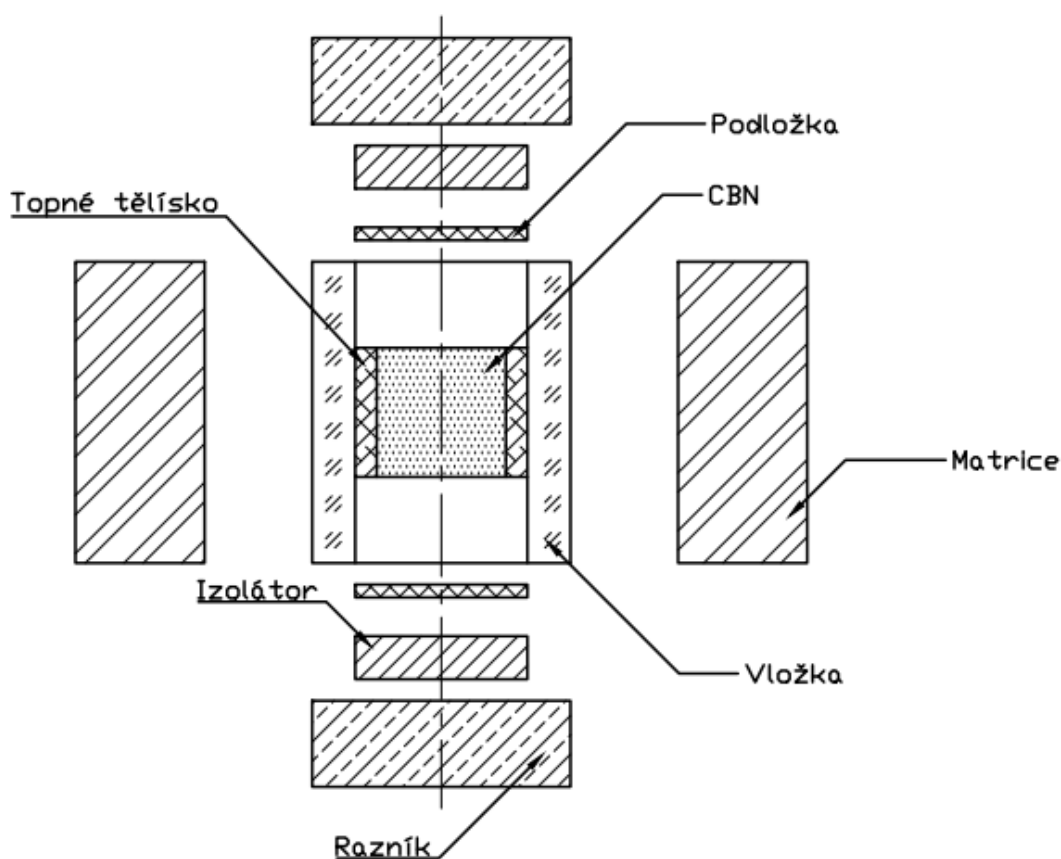


Obrázek 7 - Schéma technologie vysokotlaké syntézy

Hlavní surovinou pro výrobu supertvrdých řezných materiálů jsou diamantové prášky nebo prášky kubického nitridu boru různé zrnitosti. Přidáním pojiva je dosaženo spojení krystalů diamantu nebo kubického nitridu boru. Slinování je problematický proces, při kterém je nutné řadit krystaly diamantu nebo kubického nitridu boru aby byl dosažen dobrý výsledek slinování. Z důvodu vysokých teplot a vysokých tlaků používaných u tohoto procesu jsou používány technologie jako u syntézy diamantu nebo kubického nitridu boru. Stroje a mechanismy u výroby supertvrdých řezných materiálů mají mohutnou konstrukci právě z důvodu vysokých tlaků, kterými jsou zatíženy. Problémem těchto strojů jsou i deformace, které vznikají zahříváním na požadovanou teplotu, včetně deformací od vysokých tlaků, a které výrazně převyšují konstrukční možnosti. Pro snížení deformací se používají materiály s velkým modulem pružnosti v tahu. Velmi vhodné jsou slinuté karbidy, které mají dostatečně velký modul pružnosti v tahu a velmi dobrou tepelnou odolnost. Hydraulický lis zajišťuje tlak 5 GPa. K dosažení provozní teploty 1450 °C slouží topná trubice. Všechny mechanismy jsou utěsněny speciálním těsněním [4].

Vložka je vyrobena z pyrofylitu sloužícího jako tlakové medium. Do vložky jsou vkládány další tvarové komponenty nebo izolátory [4].

Proces výroby začíná přípravou – mícháním surovin v určitém poměru. Poměr pojiva a tvrdé složky je stanoven dle typu výsledného materiálu. Na kvalitě míchání pojiva a tvrdé složky závisí dosažení stejných vlastností celého objemu polykrystalického materiálu. Následuje plnění slinované vložky. Vložka se vkládá do zdrojového zařízení, který umožní působení vysokého tlaku 5 GPa během 1450 °C nejméně po dobu 10 minut, při němž se vytvoří spojení mezi pojivem a jednotlivými krystaly. Po ukončení procesu působení vysokého tlaku a vysoké teploty se vložka vyjme. Takto vyrobený kubický nitrid boru slouží jako polotovar pro výrobu břitových destiček a nástrojů [4].



Obrázek 8 - Schéma slinovacího zařízení

### 3.3 Výrobky vysokotlaké syntézy při slinování CBN

BONAR a.s. vyrábí slinováním polotovary kubického nitridu boru. Polotovary jsou dále zpracovány ve výrobě do podoby konečného výrobku. Tím jsou břitové destičky nebo nástroje s materiálem CBN.

Polotovary se liší strukturou materiálu a jeho tvarem i velikostí.

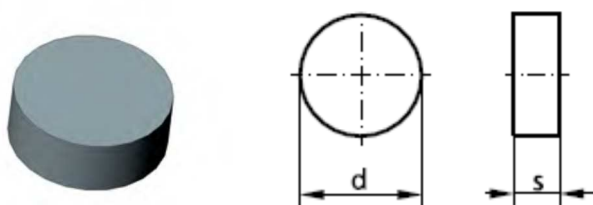
BONAR a.s. vyrábí dle struktury nejčastěji dva typy materiálu kubického nitridu.

BONAR a.s. vyrábí a prodává pod obchodním označením materiál CBN Boronid s typovým BRD 90 a BRD 80. Materiál se liší svojí strukturou a následným použitím.

CBN Boronid BRD 90 obsahuje 90 % CBN. Střední velikost zrna je 0,02 mm. Materiál má výbornou otěruvzdornost. Má výbornou odolnost proti teplotním a mechanickým vlivům.

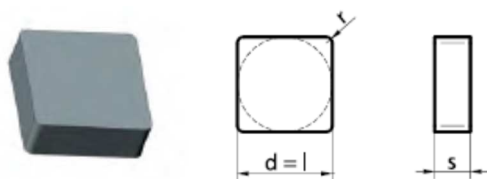
CBN Boronid BRD 80 obsahuje 85 % CBN. Střední velikost zrna je 0,012 mm. Materiál má shodné vlastnosti jako předchozí materiál BRD 90, tedy výbornou otěruvzdornost a odolnost proti teplotním a mechanickým vlivům. Odlišuje se vyšší houževnatostí a pevností. Dále má zvýšenou odolnost proti výtiskům na hranách břitů destiček nebo nástrojů.

Typy základních výrobků:



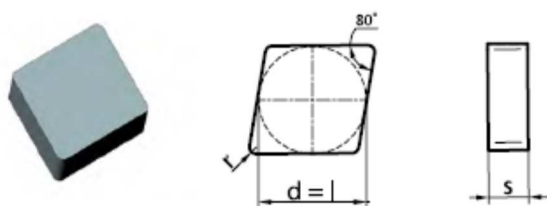
velikost VBD	fazetka F	fazetka T		materiál		rozměr [ mm ]		
	ostrá	0,1 × 15°	0,2 × 20°	BRD90	BRD80	d	d1	s
0603	O	O		O		6,35	-	3,18
06T3	O	O		O				3,97
0903	O	O		O		9,525	-	3,18
09T3	O	O		O				3,97
0904	O	O		O				3,97
1203	O		O	O		12,7	-	3,18
1204	O		O	O				4,76
1504	O		O	O		15,875	-	4,76
1506	O		O	O				6,35
1507	O		O	O				7,94
1906	O		O	O		19,05	-	6,35
1907	O		O	O				7,94
2506	O		O	O		25,4	-	6,35
2507	O		O	O				7,94

Obrázek 9 – Typ výrobku RNGN [1]



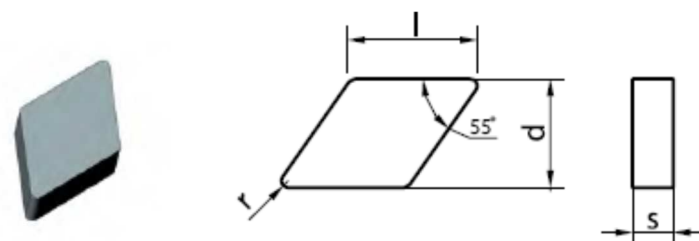
veľkosť VBD	fazetka F	fazetka T		materiál		rozměr [ mm ]				
	ostrá	0,1 × 15°	0,2 × 20°	BRD90	BRD80	d	d1	s	l	r
090304	O	O		O		9,525	-	3,18	9,5	0,4
090308	O	O		O				0,8		
09T304	O	O		O				3,97		0,4
09T308	O	O		O				0,8		
12T304	O		O	O		12,7	-	3,97	12,7	0,4
12T308	O		O	O				0,8		
120404	O		O	O				4,76		0,4
120408	O		O	O						0,8
120416	O		O	O						1,6
150404	O		O	O		15,875	-	4,76	15,8	0,4
150408	O		O	O						0,8
150416	O		O	O						1,6

Obrázek 10 - Typ výrobku SNGN [1]



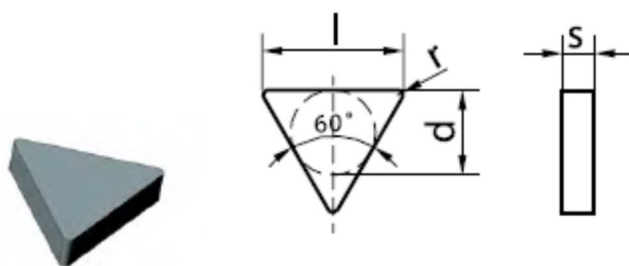
veľkosť VBD	fazetka F	fazetka T		materiál		rozměr [ mm ]					
	ostrá	0,1 × 15°	0,2 × 20°	BRD90	BRD80	d	d1	s	l	r	
090304	O	O		O		9,525	-	3,18	9,5	0,4	
090308	O	O		O							
09T304	O	O		O				3,97		0,4	
09T308	O	O		O						0,8	
12T304	O		O	O		12,7	-	3,97	12,7	0,4	
12T308	O		O	O						0,8	
120404	O		O	O				4,76		0,4	
120408	O		O	O						0,8	
120416	O		O	O						1,6	
160404	O		O	O		15,875	-	4,76	15,8	0,4	
160408	O		O	O						0,8	
160416	O		O	O						1,6	

Obrázek 11 – Typ výrobku CNGN [1]



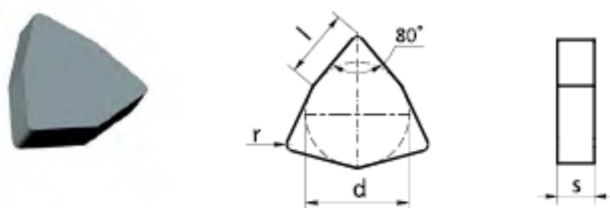
veľkost VBD	fazetka F	fazetka T		materiál		rozměr [ mm ]					
	ostrá	0,1 × 15°	0,2 × 20°	BRD90	BRD80	d	d1	s	l	r	
070302	O	O		O		6,35	-	3,18	7,8	0,2	
070304	O	O		O				0,4			
07T304	O	O		O				0,4			
07T308	O	O		O				0,8			
11T304	O		O	O		9,525		-	3,97	11,6	0,4
11T308	O		O	O					0,8		
110404	O		O	O					0,4		
110408	O		O	O					0,8		

Obrázek 12 - Typ výrobku DNGN [1]



veľkosť VBD	fazetka F	fazetka T		materiál		rozměr [ mm ]					
	ostrá	0,1 × 15°	0,2 × 20°	BRD90	BRD80	d	d1	s	l	r	
11T304	O	O		O		6,35	-	3,97	11,0	0,4	
11T308	O	O		O						0,8	
11T316	O	O		O						1,6	
16T304	O	O		O		9,525	-	3,97	16,5	0,4	
16T308	O	O		O						0,8	
16T316	O	O		O						1,6	
160404	O		O	O			-	4,76		0,4	
160408	O		O	O						0,8	
160416	O		O	O						1,6	

Obrázek 13 – Typ výrobku TNGN [1]



velikost VBD	fazetka F	fazetka T		materiál		rozměr [ mm ]				
	ostrá	0,1 × 15°	0,2 × 20°	BRD90	BRD80	d	d1	s	l	r
06T208	O	O		O		9,525	-	3,97	6,2	0,8
06T316	O	O		O				1,6		
060408	O	O		O				0,8		
060416	O	O		O				1,6		
08T308	O		O	O		12,7	-	3,97	8,5	0,8
08T316	O		O	O				1,6		
080408	O		O	O				0,8		
080416	O		O	O				1,6		

Obrázek 14 – Typ výrobku WNGN [1]



### **3.4 Problematika odlišné velikosti výrobku CBN při slinování**

V současnosti u procesu slinování CBN je ve společnosti BONAR a.s. řešen problém odlišnosti výrobku – polotovaru, který je nadále zpracován výrobními procesy.

Mezioperační kontrola zjistila rozdílnou velikost polotovaru po slinování. Rozdílná velikost se projevila u všech vyráběných tvarů. U vyráběného tvaru čtverec se kromě rozdílné velikosti projevila i rozdílný výsledný tvar polotovaru.

Byl zpracován plán možných vlivů, které by mohly ovlivnit rozdílnost velikosti.

Podle plánu byla nejdříve kontrolována vstupní surovina pro slinování. Surovina byla kontrolována laboratorními testy ve společnosti BONAR a.s., tak i ve spolupráci s dodavatelem suroviny. Vstupní surovina před dalším použitím je dále zpracovávána přímo ve společnosti pro přípravu slinování. Všechny tyto procesy přípravy byly podrobeny kontrole. Tato kontrola byla s negativním výsledkem. Laboratorní testy ukázaly plnou shodu vstupní suroviny, jak od dodavatelů, tak i ve výrobním procesu příprav pro slinování.

Dále byly kontrolovány veškeré pomocné materiály, které jsou použity při slinování. Pomocné materiály byly rozděleny na přímé a nepřímé působení na proces slinování. Nepřímé materiály byly vyloučeny z podrobné kontroly. Byla provedena jen vstupní kontrola ve spolupráci s dodavatelem nebo výrobcem materiálu a namátková kontrola ve výrobním procesu příprav slinování ve společnosti BONAR a.s. Přímé materiály byly také podrobeny vstupní kontrole ve spolupráci s dodavatelem nebo výrobcem. Následně byly podrobeny kontrole v procesu přípravy. Kontrola potvrdila shodu požadovaných materiálů.

Kontroly vstupů, jak suroviny i pomocných materiálů, neodhalily žádnou příčinu vzniku rozdílnosti velikosti polotovaru slinování. Nebyl zjištěn žádný rozdíl či chyba v dodávaných materiálech.

### 3.5 Stanovení možných příčin

Po vyloučení možných chyb a odlišností u dodávek surovin a pomocných materiálů od dodavatelů a výrobců bylo stanoveno testování pomocných přímých materiálů.

Pomocné materiály mají významný vliv na průběh slinování. Jakákoliv odlišnost u pomocných materiálů ovlivní vlastní průběh slinování. Kvalitní výsledek slinování ovlivňuje dodržení přesných chemických vlastností používaných materiálů. Společnost BONAR a.s. pravidelně ověřuje tyto vlastnosti ve spolupráci se smluvní laboratoří.

Dodržení stanovených tlaků a teploty ve vložce slinovacího procesu musí pomocné materiály zajistit po celou dobu procesu. Snížení tlaku nebo odvádění teploty z vložky mají negativní následky na výsledný výrobek. Jakákoliv vada pomocného materiálu, třeba i rozměrová vždy způsobí vadu výrobku. Změna tvaru výsledného výrobku při slinování ovlivní jeho vlastnosti. Vznikne nerovnoměrné rozložení struktury PCBN. Výrobek pak nemá své požadované vlastnosti v celém tvaru a musí být vyřazen. Mnohdy při procesu slinování výrobek praskne nebo se rozpadne.

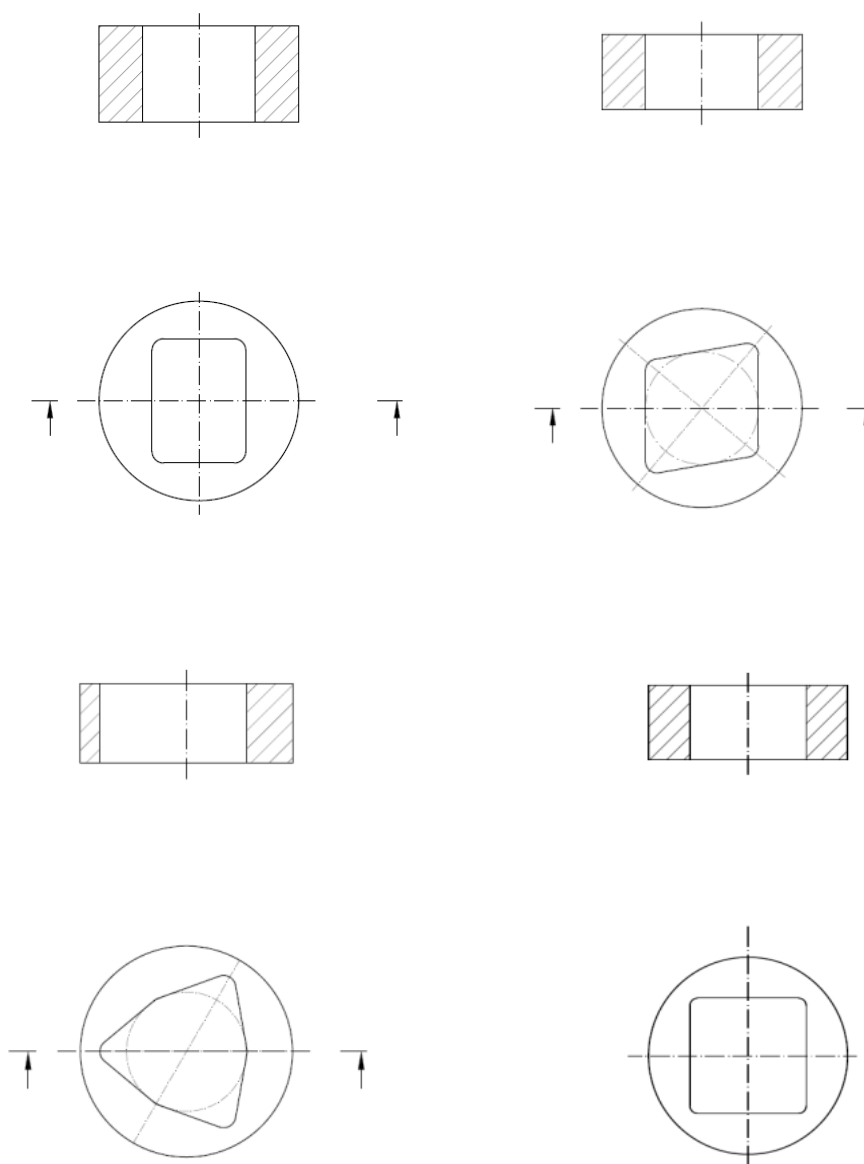


Obrázek 15 - Vadné výroky po slinování [2]

## 4 Návrh řešení

Základní řešení problému rozdílné velikosti výrobku po slinování je materiál topného tělíska. Při slinovacím procesu, u něhož jsou dodrženy všechny stanovené parametry, ovlivňuje výsledný výrobek.

Topné tělísko je vyrobeno z grafitu.



Obrázek 16 - Topná tělíska pro jednotlivé výrobky slinování

## 4.1 Grafit

Grafit, česky tuha, řadí se s diamantem mezi chemické prvky uhlíku. Ten se od diamantu odlišuje poskládáním jednotlivých atomů uhlíku v jeho struktuře, tím se jeho vlastnosti tolik liší od diamantu. Grafit je složen z atomů uhlíků, které jsou uspořádány do vrstviček a ty jsou mezi sebou spojeny poměrně slabou vazbou, v důsledku toho je grafit hodně měkký a snadno se otírá o různé předměty. Tím se jeho vlastnost dá využít v obyčejných tužkách, na základě toho tuha zanechává čáru na papíře.

Grafit má barvu černošedou až černou, na omak je mastný, jeho vryp je matně ocelově šedý a lesklý, je elektricky vodivý. Tvoří jemně lupenité, zemité, zrnité až celistvé agregáty, občas je drsně lupenitý, dobře omezené krystaly bývají vzácné. Ekonomicky podstatná jsou grafitová naleziště v regionálně metamorfovaných horninách, ve kterých pravděpodobně vznikly přeměnou ložisek ropy a uhelných slojí [5].

V České republice se grafit těžil v okolí Českého Krumlova, ve Chvalovicích od Českých Budějovic, v Bližné od Černé v Pošumaví, ve Velkém Tresném od Bystřice nad Pernštejnem, v Kolodějích nad Lužnicí severně od Týna nad Vltavou a okolo Starého Města u Jeseníku. Ložiska na Moravě a v jižních Čechách jsou spojována s grafitickými ruly, mramory, kvarcity a amfibolity, ve kterých tvoří grafit čočkovitá tělesa [5].

Pro jeho vlastnosti - snadná opracovatelnost, měkkost, žáruvzdornost, elektrická a tepelná vodivost a klouzavost se grafit využívá ve spoustě průmyslových oborech. Grafit se využívá v metalurgii jako žáruvzdorný materiál, suchých i olejových mazadel, antikorozních nátěrů, k výrobě tužek, v elektrotechnice (galvanické pokovování, elektrody, součástky dynam, atd.). Vetší množství grafitu se tvoří uměle z odpadů po zpracování ropy, z antracitu i ze sazí.

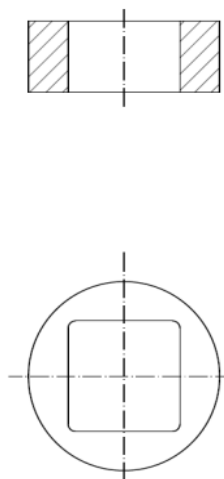
Při výrobě oceli a železa slouží grafit jako složka při tavení ušlechtilých ocelí, také i jako mazadlo odlévacích forem a společně se šamotem a ostatními keramickými hmotami při vyrobení žáruvzdorných vyzdívek vysokých pecí a speciálně tvarovaných forem. Stejně tak se vymazávají formy pro vylití skla. K tomuto využití se však nehodí surový grafit, ale je nutné, aby byl po vytěžení zpracován, drcením, mletím, plavením a sušením. Po tomto postupu se dosáhne koncentráту s obsahem 92 - 95 % uhlíku, které se používají při slévání kovů. Koncentráty se také dále zpracovávají kyselým loužením, alkalickým loužením a kromě toho mnohonásobným mletím na mikro mlýnech [5].

## 4.2 Stanovení možných typů náhrad

Pro řešení byly zvoleny tři typy grafitu, které odpovídaly požadavkům vhodným pro výrobní proces slinování.

Vzhledem k utajení vlastností grafitu, pro účel této bakalářské práce byly typy grafitu označeny písmeny A, B a C. Typy A a B byly od jednoho dodavatele a typ C byl od dalšího dodavatele. Typ A a C se shodovaly v udávaných parametrech od obou dodavatelů.

Z materiálu typu A, B a C byla vyrobena rozměrově shodná topná tělíska.



Obrázek 17 - Topné tělíska pro testovací sadu výroku slinování [2]

## 5 Praktické testování

### 5.1 Příprava pro praktické testování

Testování proběhlo za stejných podmínek pro všechny typy grafitu. Bylo použito stejné výrobní zařízení – vysokotlaká syntéza II. Programově byly nastaveny stejné hodnoty procesu slinování. Před testováním proběhla na zařízení vysokotlaké syntézy kalibrace.

Testování proběhlo u typu výrobku SNMN 1204XX.



Obrázek 18 - Typ výrobku SNMN 1204XX [1]

Složení vložky bylo sestaveno ze shodných částí a materiál CBN a pojivo bylo také shodné.

### 5.2 Testování výrobků při slinování CBN a měření testovacích výrobků

Testování typu grafitu A a B proběhlo výrobně dne 5. 2. 2019 a typu C dne 6. 2. 2019. U všech typů grafitu A, B i C bylo testováno 10 vzorků.

Po slinování proběhlo první měření testovacích výrobků. Měření proběhlo na profil projektoru Mitutoyo PJ-A3010F-200. Jedná se o softwarové vizuální měření testovacích výrobků s hodnocením shoda nebo neshoda. Vizuálně se hodnotí tvarová shoda testovacích výrobků. U všech 30 testovacích výrobků byla shoda.

Při vizuálním hodnocení bylo zjištěno, že souběžnost horní plochy a spodní plochy testovacích výrobků je shodná.

Následovně proběhlo rozměrové měření testovacích výrobků.

Testovací výrobek byl rozměrově měřen po všech čtyřech stranách testovacího výrobku. Z vizuálního hodnocení testovacích výrobků vyplynulo, že souběžnost horní a spodní plochy je shodná. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že pro hodnocení testovacího výrobku bude měřena tloušťka výrobku jen u jedné strany. Měření proběhlo ve třech vrstvách. Měření proběhlo na měřidle MitutoyoQuick Vision Apex a Mitutoyo PJ-A3010F-200.

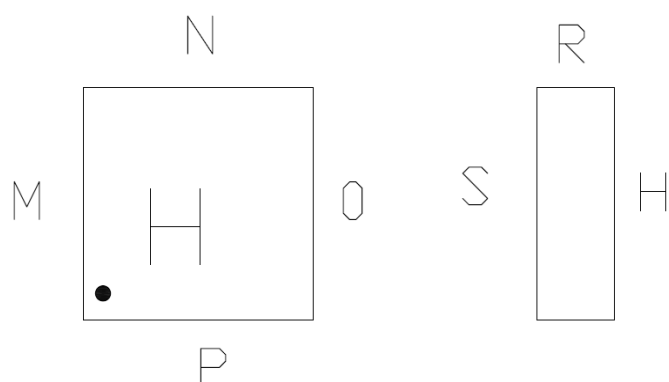
Každý testovací výrobek byl po slinování označen přímo v zařízení barevnou značkou H – horní strana a roh testovacího výrobku v dolní části vlevo.



Obrázek 19 - Označení výrobku po slinování.[2]

Označení stran, ploch, tloušťky a vrstev měření bylo stanoveno následovně:

- Strany M, N, O a P
- Tloušťka R
- Plochy S a H
- Vrstvy 1, 2 a 3

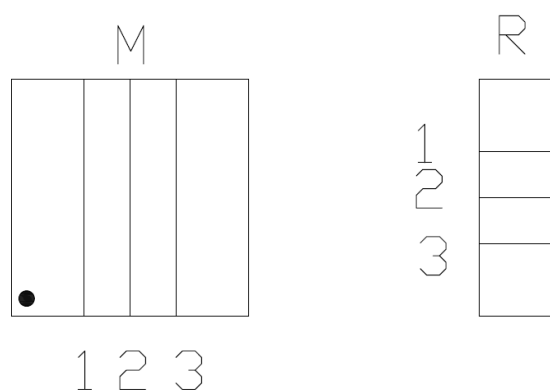


Obrázek 20 - Označení stran, tloušťky a ploch [2]

Označení strany M bylo stanoveno jako výchozí od označeného rohu testovacího výrobku.

Vrstvy byly pro měření označeny poměrově. Vrstva 2 - střed tloušťky testovacího výrobku, vrstva 1 - 3 mm od středu směrem k spodní ploše a vrstva 3 - 3 mm od středu směrem k horní ploše.

Vrstvy u označení tloušťky R byly označeny také poměrově. Vrstva 2 - střed strany testovacího výrobku, vrstva 1 - 3 mm od středu směrem k spodní hraně a vrstva 3 - 3 mm od středu směrem k horní hraně.



Obrázek 21 - Označení vrstev [2]





Obrázek 22 - Detail měření



Obrázek 23 - Měřicí pracoviště

## 5.3 Naměřené hodnoty testovacích výrobků

### 5.3.1 Výsledky měření pro grafit typu A

Tabulka 1 - Výsledek měření pro grafit typu A – část 1

Označení stroje	Datum	Výrobek číslo / čas	Rozměry (mm)					
			Vrstva	M	N	O	P	R
Syntéza II.	5. 2. 2019	1/07:00	1	15,45	15,50	15,50	15,52	5,40
			2	15,50	15,52	15,50	15,52	5,40
			3	15,65	15,67	15,68	15,70	5,40
			Průměr	15,53	15,56	15,56	15,58	5,40
	5. 2. 2019	2/07:30	1	15,50	15,50	15,50	15,52	5,50
			2	15,55	15,57	15,57	15,60	5,52
			3	15,72	15,72	15,75	15,75	5,50
			Průměr	15,59	15,60	15,61	15,62	5,51
	5. 2. 2019	3//08:00	1	15,42	15,42	15,47	15,45	5,45
			2	15,52	15,55	15,55	15,55	5,40
			3	15,70	15,75	15,75	15,79	5,40
			Průměr	15,55	15,57	15,59	15,60	5,42
	5. 2. 2019	4/08:30	1	15,46	15,48	15,46	15,48	5,40
			2	15,54	15,60	15,54	15,60	5,35
			3	15,70	15,72	15,72	15,72	5,35
			Průměr	15,57	15,60	15,57	15,60	5,37
	5. 2. 2019	5/09:00	1	15,50	15,50	15,50	15,48	5,45
			2	15,50	15,50	15,48	15,48	5,42
			3	15,68	15,68	15,70	15,70	5,44
			Průměr	15,56	15,56	15,56	15,55	5,44

Tabulka 2 - Výsledek měření pro grafit typu A – část 2

Označení stroje	Datum	Výrobek číslo / čas	Rozměry (mm)					
			Vrstva	M	N	O	P	R
Syntéza II.	5. 2. 2019	6/09:30	1	15,50	15,52	15,52	15,52	5,35
			2	15,50	15,54	15,52	15,54	5,35
			3	15,65	15,68	15,68	15,68	5,35
			Průměr	15,55	15,58	15,57	15,58	5,35
	5. 2. 2019	7/10:00	1	15,50	15,50	15,50	15,50	5,50
			2	15,52	15,52	15,48	15,48	5,46
			3	15,72	15,72	15,72	15,72	5,50
			Průměr	15,58	15,58	15,57	15,57	5,49
	5. 2. 2019	8/11:00	1	15,48	15,48	15,48	15,48	5,38
			2	15,52	15,50	15,50	15,50	5,40
			3	15,68	15,70	15,70	15,70	5,40
			Průměr	15,56	15,56	15,56	15,56	5,39
	5. 2. 2019	9/11:30	1	15,48	15,48	15,48	15,48	5,50
			2	15,48	15,48	15,48	15,48	5,50
			3	15,72	15,70	15,72	15,72	5,52
			Průměr	15,56	15,55	15,56	15,56	5,51
	5. 2. 2019	10/12:00	1	15,46	15,48	15,46	15,48	5,35
			2	15,50	15,50	15,52	15,50	5,35
			3	15,68	15,68	15,65	15,65	5,38
			Průměr	15,55	15,55	15,54	15,54	5,36

### 5.3.2 Výsledky měření pro grafit typu B

Tabulka 3 - Výsledek měření pro grafit typu B – část 1

Označení stroje	Datum	Výrobek číslo / čas	Rozměry (mm)					
			Vrstva	M	N	O	P	R
Syntéza II.	5. 2. 2019	11/12:30	1	15,02	15,04	15,02	15,04	4,95
			2	15,90	15,85	15,90	15,87	6,20
			3	15,04	15,06	15,04	15,04	5,02
			Průměr	15,32	15,32	15,32	15,32	5,39
	5. 2. 2019	12/13:00	1	15,04	15,04	15,10	15,06	5,00
			2	15,95	15,90	15,90	15,92	6,20
			3	15,04	15,06	15,10	15,10	5,02
			Průměr	15,34	15,33	15,37	15,36	5,41
	5. 2. 2019	13//13:30	1	15,10	15,12	15,10	15,10	5,06
			2	15,95	16,00	15,98	15,98	6,22
			3	15,02	15,02	15,00	15,00	4,92
			Průměr	15,36	15,38	15,36	15,36	5,40
	5. 2. 2019	14/14:00	1	15,00	14,96	15,02	14,98	5,00
			2	15,98	15,98	15,98	16,00	6,20
			3	15,00	15,00	15,02	15,00	5,10
			Průměr	15,33	15,31	15,34	15,33	5,43
	5. 2. 2019	15/14:30	1	15,10	15,02	15,00	15,02	5,00
			2	16,20	16,22	16,00	16,22	6,18
			3	15,04	15,02	15,04	15,04	5,00
			Průměr	15,45	15,42	15,35	15,43	5,39

Červeně označeny hodnoty mimo stanovené tolerance

Tabulka 4 - Výsledek měření pro grafit typu B – část 2

Označení stroje	Datum	Výrobek číslo / čas	Rozměry (mm)					
			Vrstva	M	N	O	P	R
Syntéza II.	5. 2. 2019	16/15:00	1	15,00	15,00	14,92	14,94	4,98
			2	16,20	16,22	16,00	15,94	6,18
			3	15,02	15,04	15,04	15,04	5,00
			Průměr	15,41	15,42	15,32	15,31	5,39
	5. 2. 2019	17/15:30	1	14,90	14,92	14,90	14,94	4,92
			2	16,22	16,20	16,20	16,22	6,24
			3	14,96	14,96	14,96	14,98	4,98
			Průměr	15,36	15,36	15,35	15,38	5,38
	5. 2. 2019	18/16:00	1	14,98	14,98	15,04	15,04	4,90
			2	16,20	16,20	16,16	16,16	6,24
			3	14,96	14,92	15,04	15,04	5,00
			Průměr	15,38	15,37	15,41	15,41	5,38
	5. 2. 2019	19/16:30	1	14,98	14,98	14,98	14,98	5,00
			2	16,24	16,24	16,20	16,20	6,20
			3	14,98	15,00	15,02	15,02	4,98
			Průměr	15,40	15,41	15,40	15,40	5,39
	5. 2. 2019	20/17:00	1	15,00	15,00	15,06	15,02	4,98
			2	16,20	16,20	16,22	16,22	6,20
			3	15,04	15,04	14,96	14,96	4,96
			Průměr	15,41	15,41	15,41	15,40	5,38

Červeně označeny hodnoty mimo stanovené tolerance

### 5.3.3 Výsledky měření pro grafit typu C

Tabulka 5 - Výsledek měření pro grafit typu C – část 1

Označení stroje	Datum	Výrobek číslo / čas	Rozměry (mm)					
			Vrstva	M	N	O	P	R
Syntéza II.	6. 2. 2019	21/07:00	1	15,10	15,10	15,10	15,10	5,04
			2	15,40	15,46	15,40	15,48	5,10
			3	15,85	15,85	15,88	15,88	5,10
			Průměr	15,45	15,47	15,46	15,49	5,08
	6. 2. 2019	22/07:30	1	15,04	15,04	15,02	15,02	5,10
			2	15,40	15,40	15,40	15,40	5,04
			3	15,98	15,98	16,00	15,98	5,04
			Průměr	15,47	15,47	15,47	15,47	5,06
	6. 2. 2019	23//08:00	1	15,00	15,02	15,00	15,02	5,04
			2	15,38	15,40	15,38	15,32	5,06
			3	16,00	16,00	15,98	15,98	5,06
			Průměr	15,46	15,47	15,45	15,44	5,05
	6. 2. 2019	24/08:30	1	15,10	15,10	15,10	15,12	5,10
			2	15,42	15,42	15,42	15,48	5,08
			3	16,02	16,00	16,00	16,00	5,10
			Průměr	15,96	15,98	15,98	15,98	5,09
	6. 2. 2019	25/09:00	1	15,08	15,06	15,08	15,06	5,08
			2	15,38	15,38	15,38	15,38	5,08
			3	15,90	15,92	15,92	15,92	5,08
			Průměr	15,45	15,45	15,46	15,45	5,08

Červeně označeny hodnoty mimo stanovené tolerance

Tabulka 6 - Výsledek měření pro grafit typu C – část 2

Označení stroje	Datum	Výrobek číslo / čas	Rozměry (mm)					
			Vrstva	M	N	O	P	R
Syntéza II.	6. 2. 2019	26/09:30	1	15,06	15,06	15,08	15,08	5,08
			2	15,40	15,42	15,42	15,42	5,10
			3	15,96	15,96	15,96	15,96	5,10
			Průměr	15,47	15,48	15,49	15,49	5,09
	6. 2. 2019	27/10:00	1	15,02	15,04	15,04	15,04	5,10
			2	15,38	15,38	15,36	15,36	5,12
			3	16,00	15,98	15,98	15,98	5,12
			Průměr	15,47	15,47	15,46	15,46	5,11
	6. 2. 2019	28/11:00	1	15,00	15,00	15,02	15,04	5,06
			2	15,42	15,42	15,48	15,48	5,10
			3	16,02	15,98	15,98	15,98	5,10
			Průměr	15,48	15,47	15,49	15,50	5,09
	6. 2. 2019	29/11:30	1	14,96	14,96	14,98	14,98	5,08
			2	15,38	15,38	15,38	15,40	5,08
			3	16,02	16,02	16,00	16,00	5,10
			Průměr	15,45	15,45	15,45	15,46	5,09
	6. 2. 2019	30/12:00	1	15,02	15,00	15,02	15,02	5,10
			2	15,32	15,32	15,40	15,40	5,12
			3	16,02	16,00	16,00	16,00	5,12
			Průměr	15,45	15,44	15,47	15,47	5,11

Červeně označeny hodnoty mimo stanovené tolerance

## 5.4 Podmínky hodnocení testovacích výrobků

Pro hodnocení byly stanoveny následující hodnoty a tolerance rozměrů:

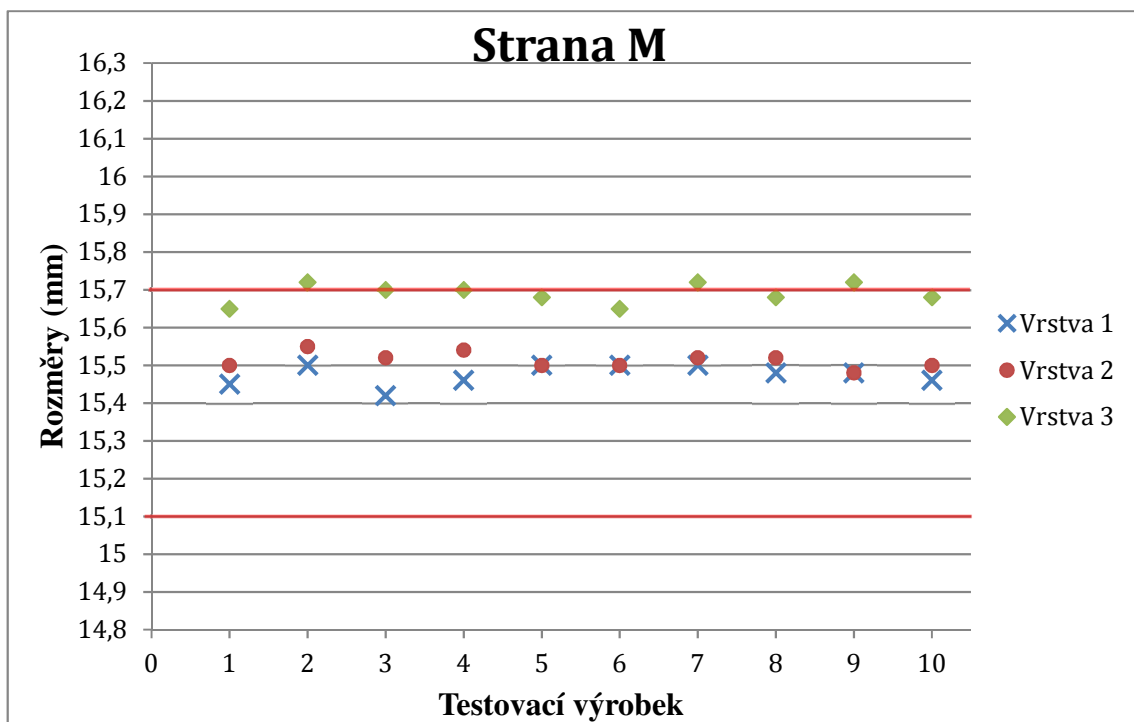
rozměr stran M, N, O, a P – rozměr  $15,4 \pm 0,3$  mm

rozměr tloušťky R – rozměr  $5,4 \pm 0,3$  mm

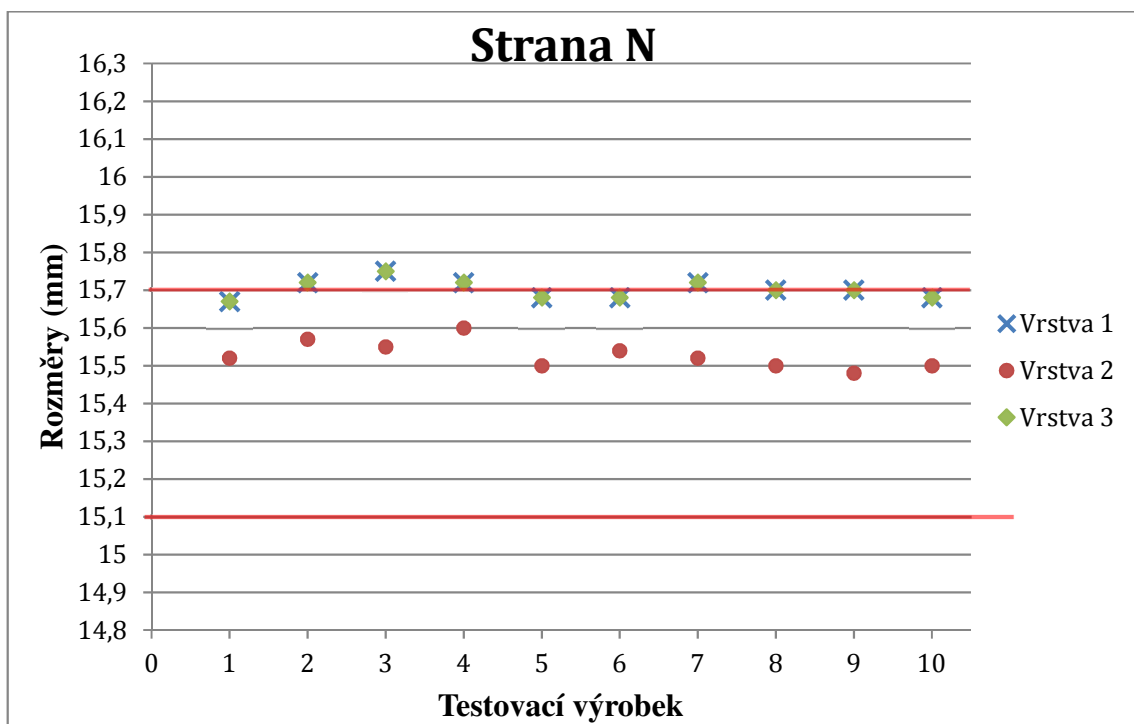
Tyto rozměry jsou nutné pro další výrobní operace konečného výrobku.

Pro grafit typu A, B i C byly hodnoty převedeny do grafu pro rozměrové hodnocení testovacích výrobků.

## 5.5 Vyhodnocení výsledků měření testovacích výrobků pro grafit typu A

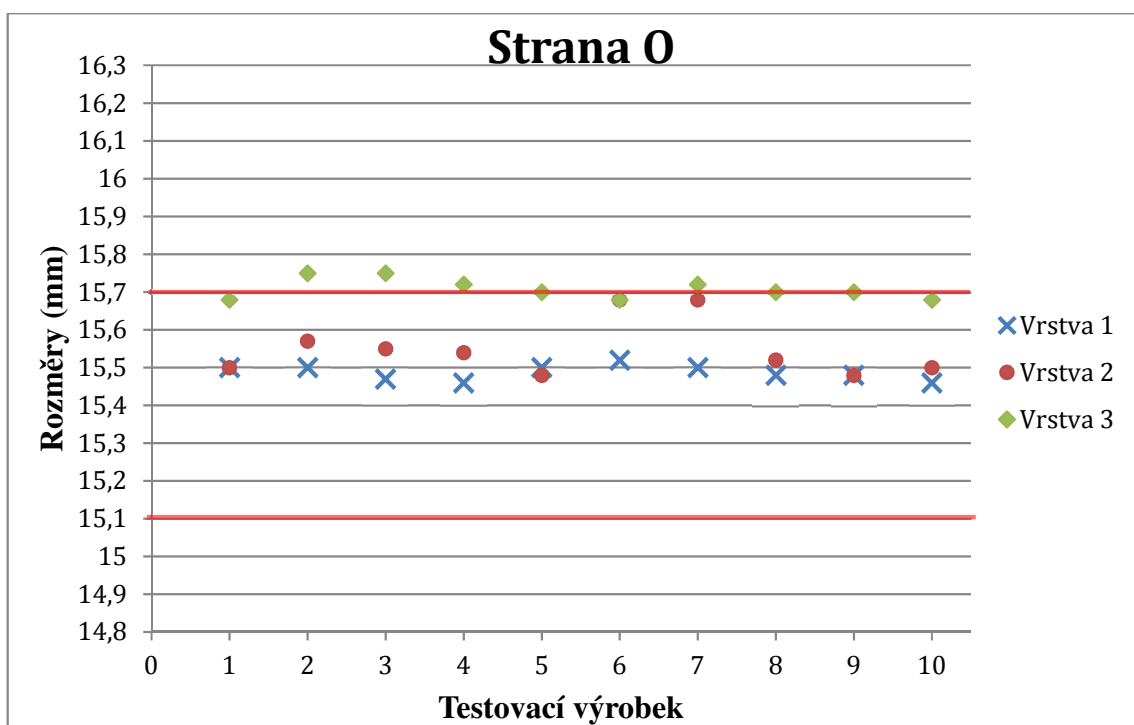


Obrázek 24 - Graf rozměrů stran M výrobku včetně tolerančního pole grafitu typu A

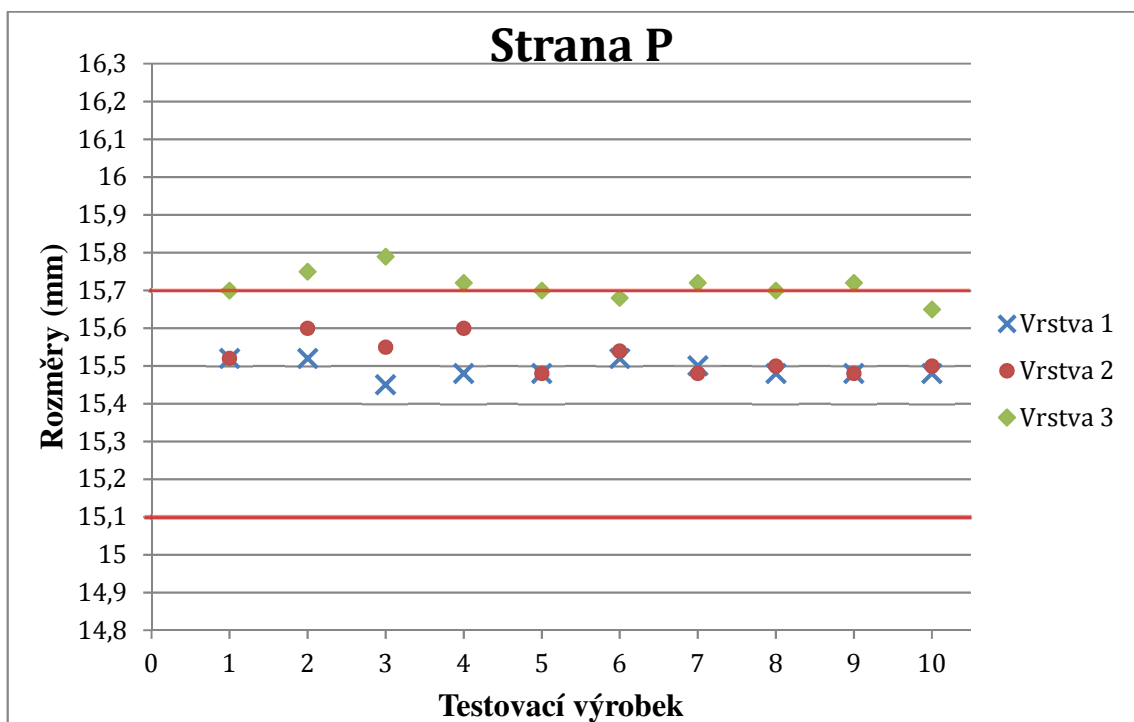


Obrázek 25 - Graf rozměrů stran N výrobku včetně tolerančního pole grafitu typu A

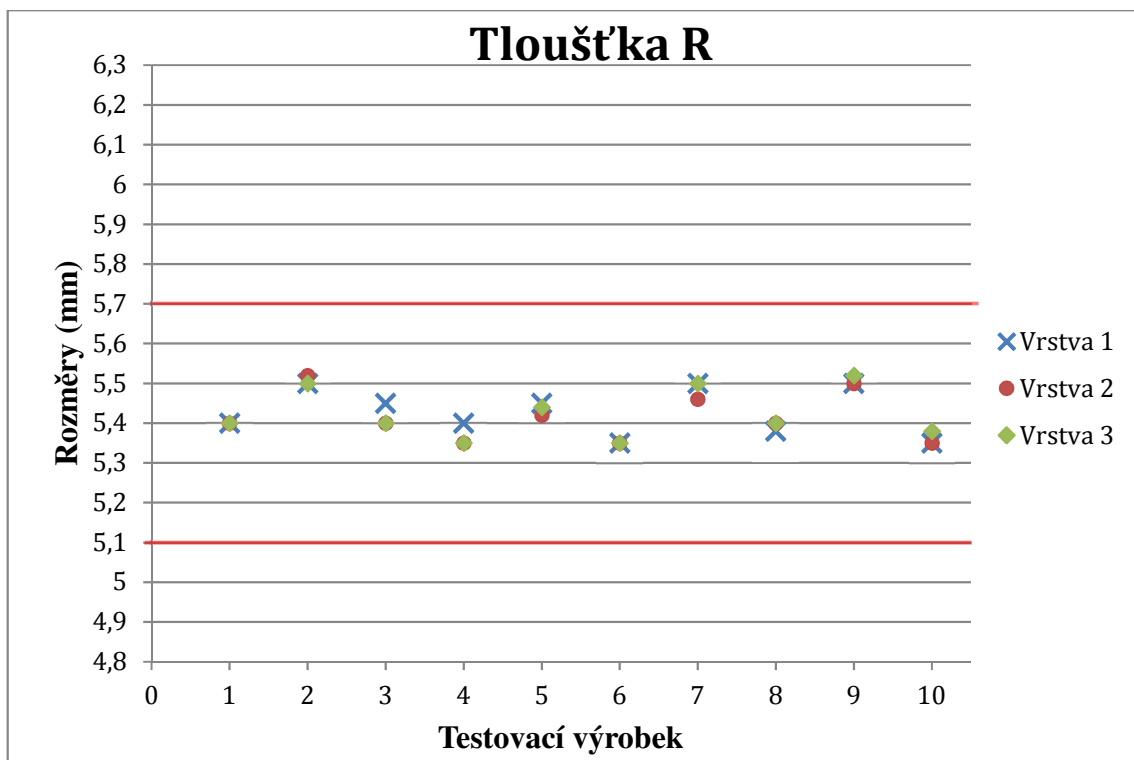




Obrázek 26 - Graf rozměrů stran O výrobku včetně tolerančního pole grafitu typu A



Obrázek 27 - Graf rozměrů stran P výrobku včetně tolerančního pole grafitu typu A

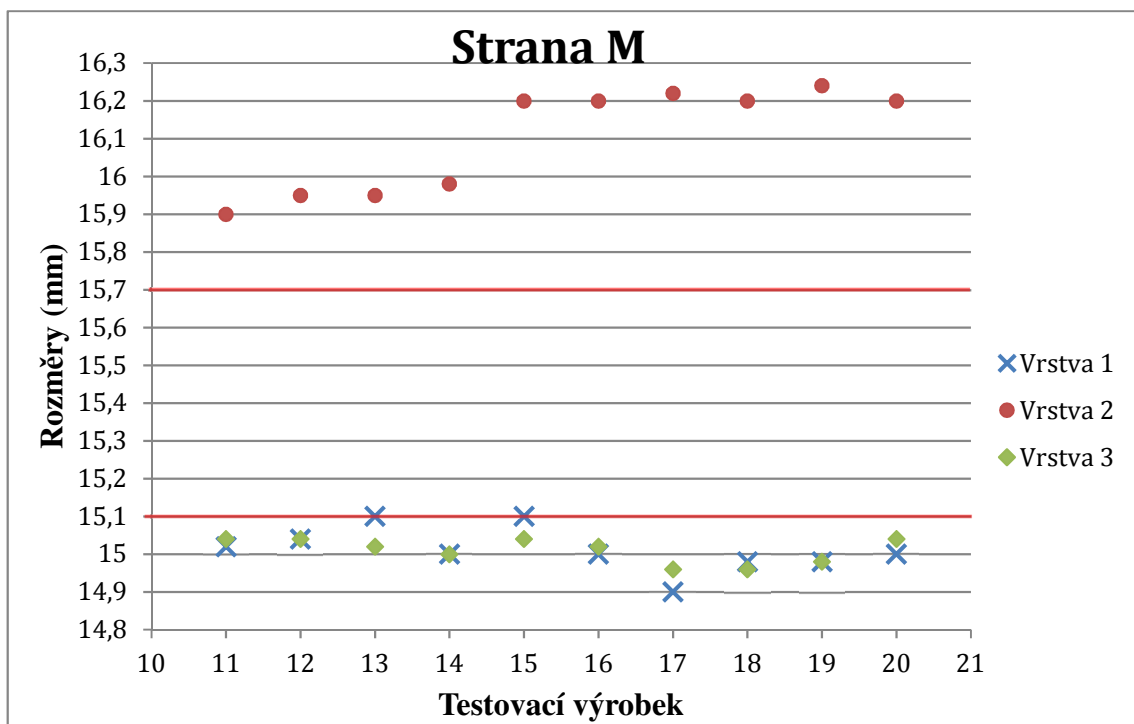


Obrázek 28 - Graf rozměrů tloušťky R výrobku včetně tolerančního pole grafitu typu A

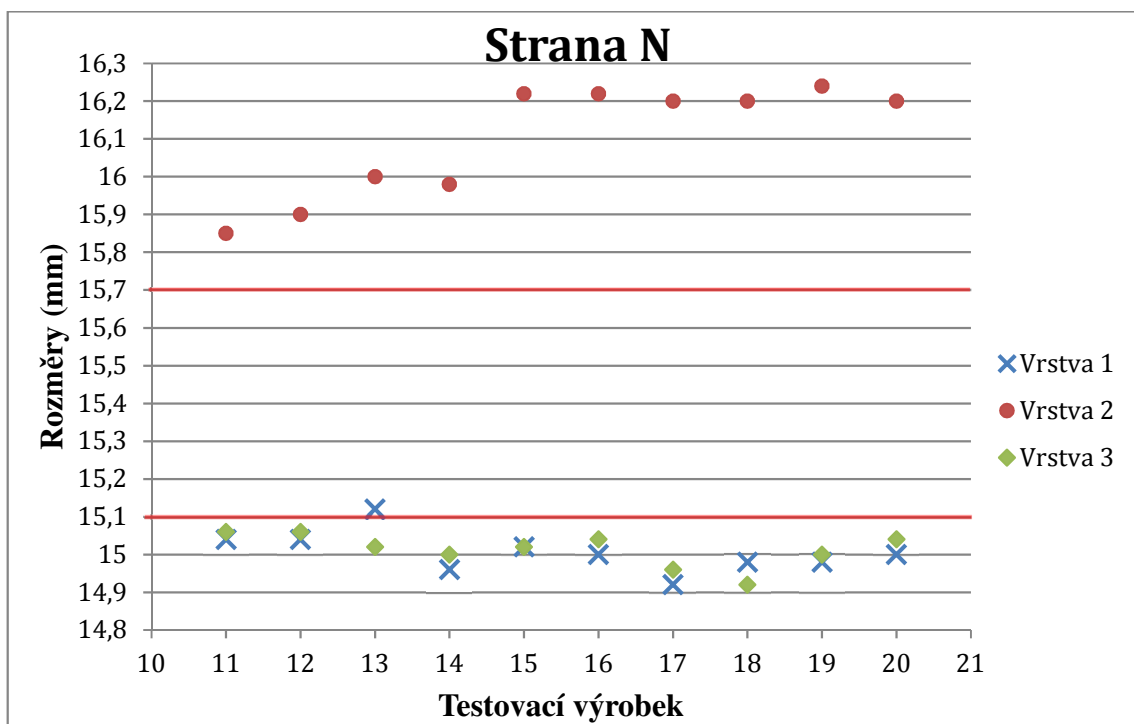
Rozměrově strany všech 10 testovacích výrobků při použití topného tělíska z grafitu typu A splňují stanovené hodnoty tolerance. Rozměrově tloušťka všech 10 testovacích výrobků při použití topného tělíska z grafitu typu A splňuje stanovené hodnoty tolerance. Rozměr stran testovacích výrobků ve spodní části ve vrstvě 3 je mírně rozměrově větší než v ostatních vrstvách.

Celkově všech 10 testovacích výrobků při použití topného tělíska z grafitu typu A splňuje všechny rozměrové hodnoty.

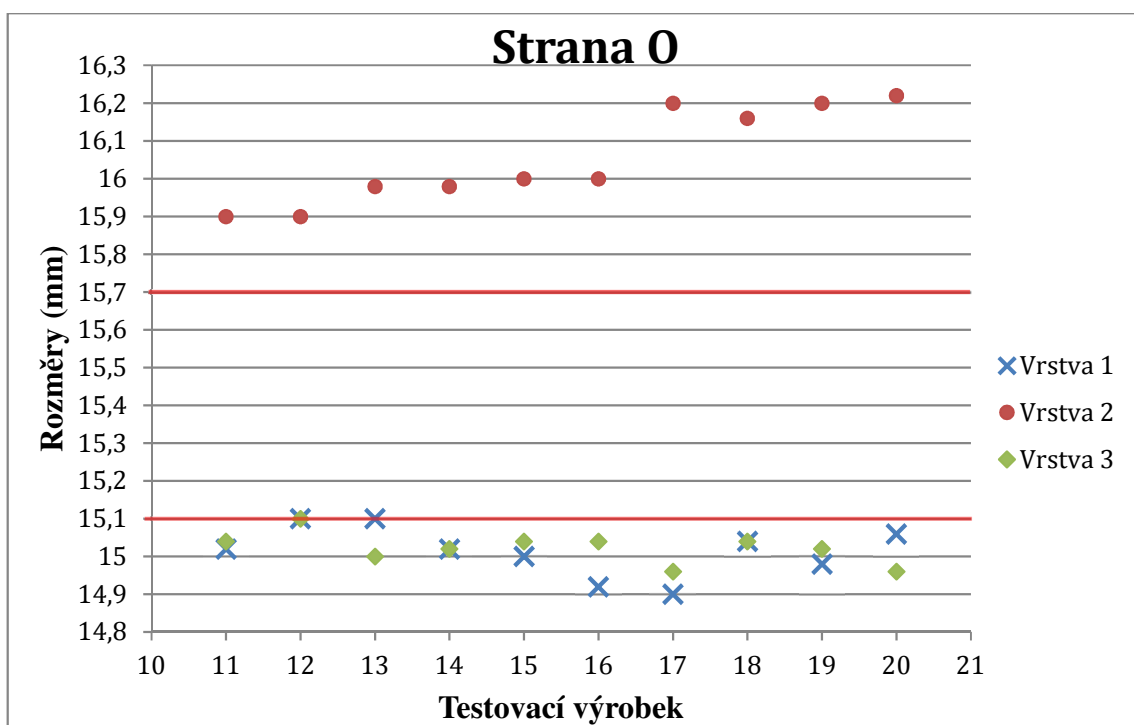
## 5.6 Vyhodnocení výsledků měření testovacích výrobků pro grafit typu B



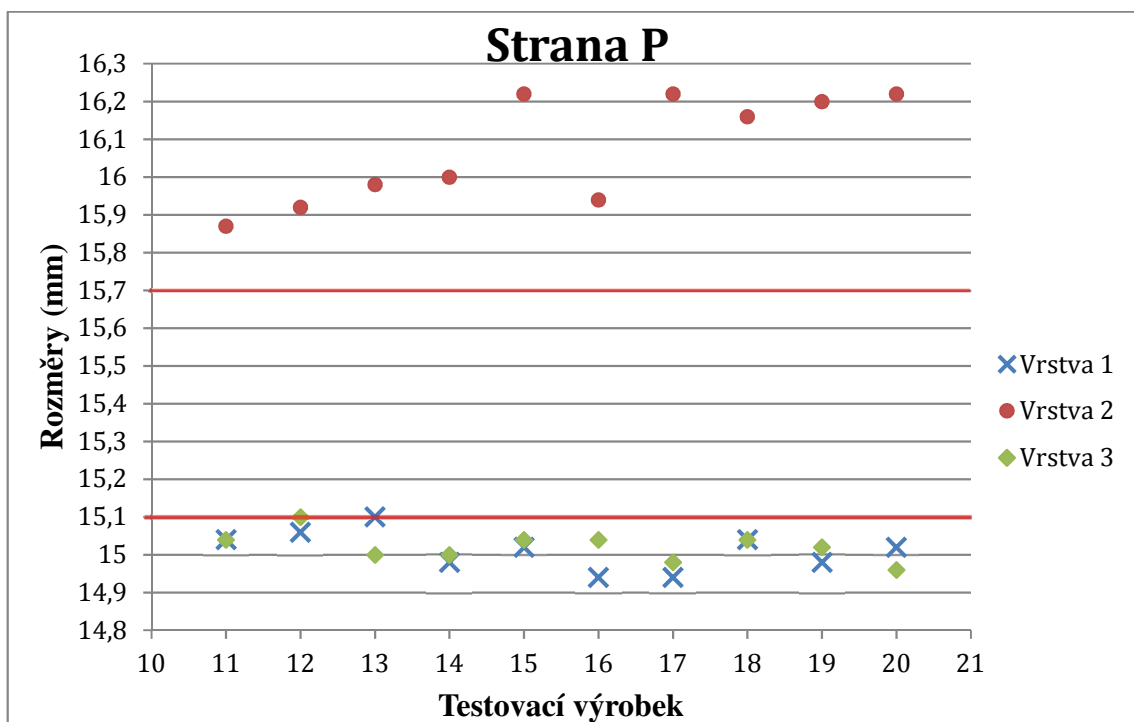
Obrázek 29 - Graf rozměrů stran M výrobku včetně tolerančního pole grafitu typu B



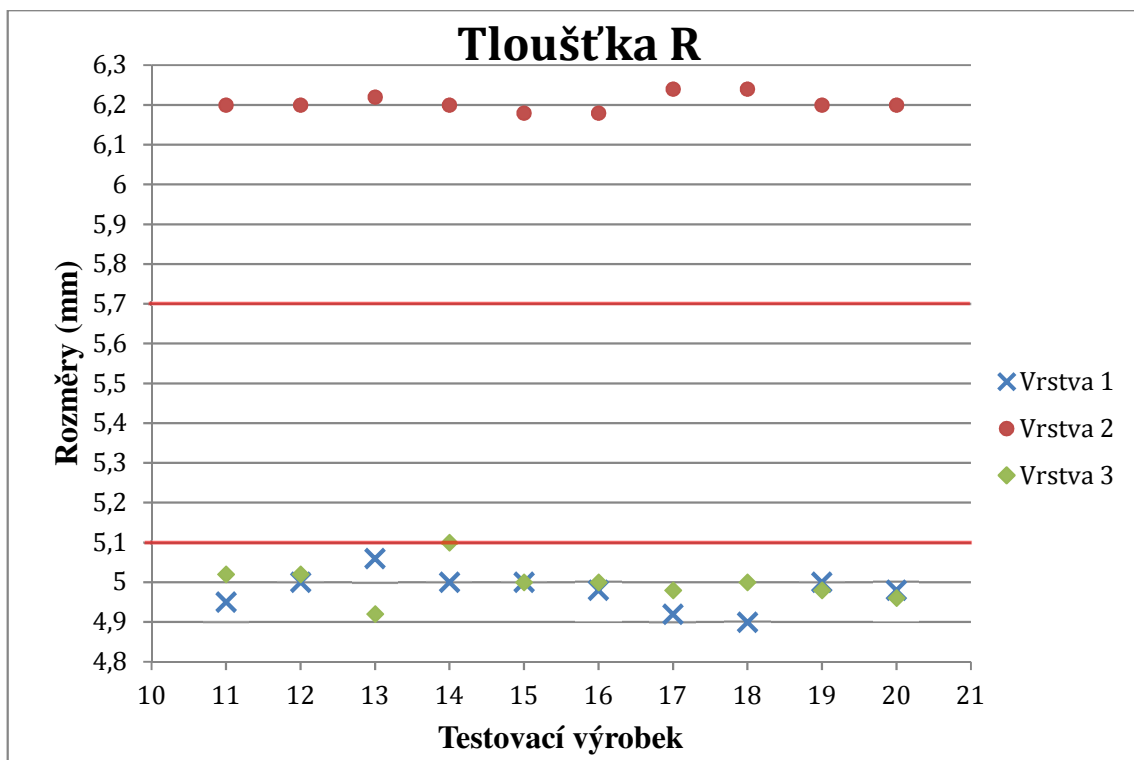
Obrázek 30 - Graf rozměrů stran N výrobku včetně tolerančního pole grafitu typu B



Obrázek 31 - Graf rozměrů stran O výrobku včetně tolerančního pole grafitu typu B



Obrázek 32 - Graf rozměrů stran P výrobku včetně tolerančního pole grafitu typu B

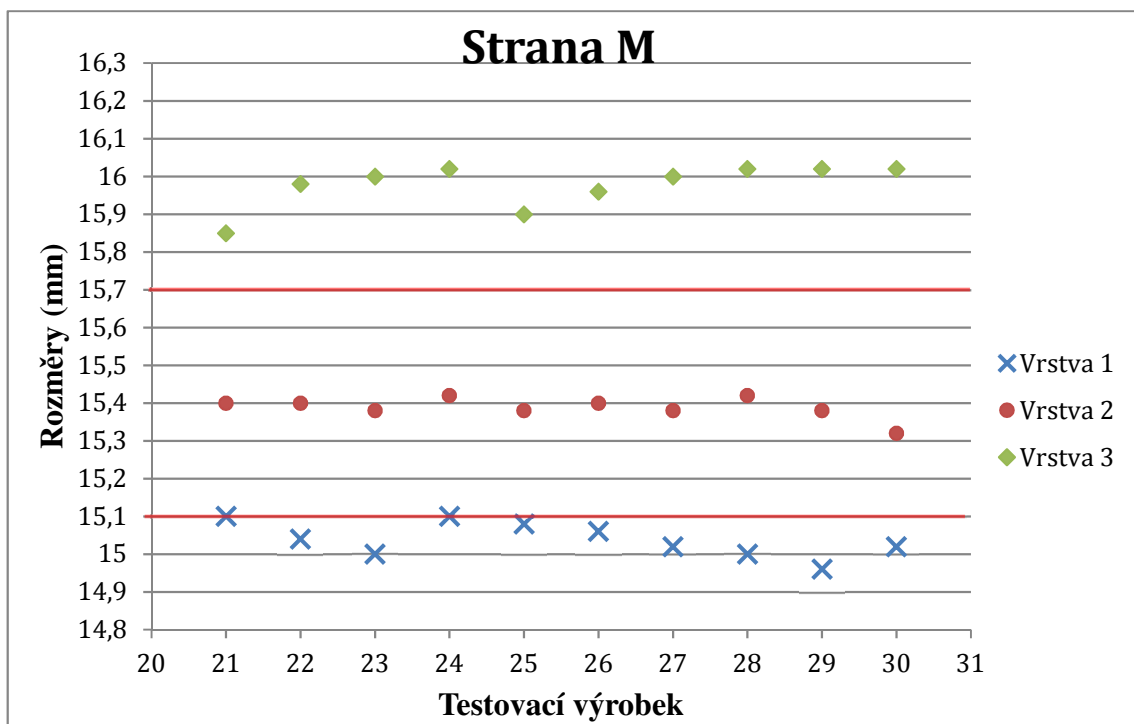


Obrázek 33 - Graf rozměrů tloušťky R výrobku včetně tolerančního pole grafitu typu B

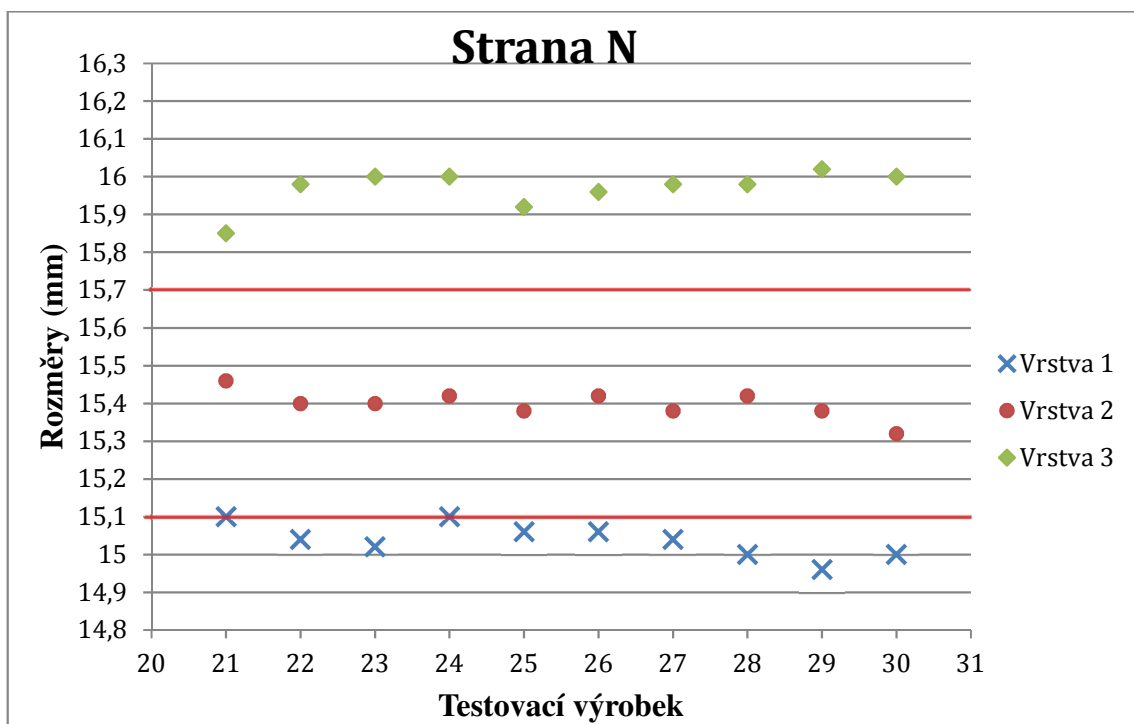
Rozměrově strany všech 10 testovacích výrobků při použití topného tělíska z grafitu typu B nesplňují stanovené hodnoty tolerance až na shodné hodnoty v jedné vrstvě u testovacího výrobku číslo 12 a 13. Rozměrově tloušťka všech 10 testovacích výrobků při použití topného tělíska z grafitu typu B nesplňuje stanovené hodnoty tolerance až na shodnou hodnotu v jedné vrstvě u testovacího výrobku číslo 14. Rozměr stran testovacích výrobků ve všech vrstvách 1, 2 i 3 výrazně překročil rozměrové hodnoty tolerance.

Celkově všech 10 výrobků při použití topného tělíska z grafitu typu B nesplňuje všechny rozměrové hodnoty.

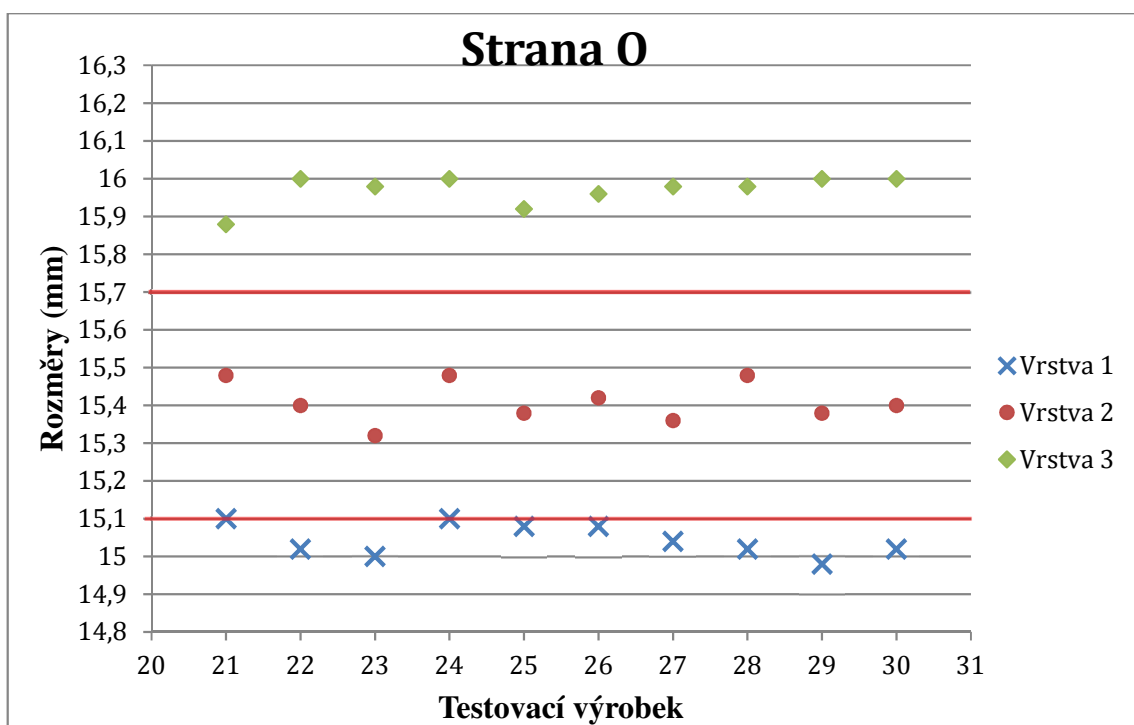
## 5.7 Vyhodnocení výsledků měření testovacích výrobků pro grafit typu C



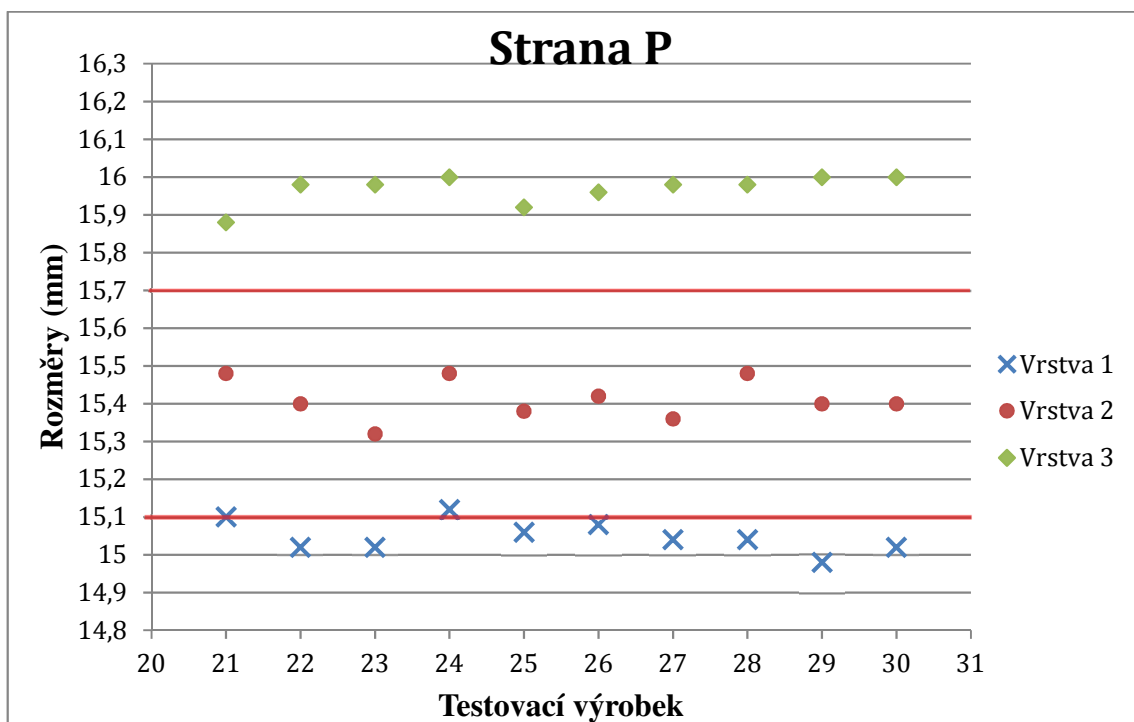
Obrázek 34 - Graf rozměrů stran M výrobku včetně tolerančního pole grafitu typu C



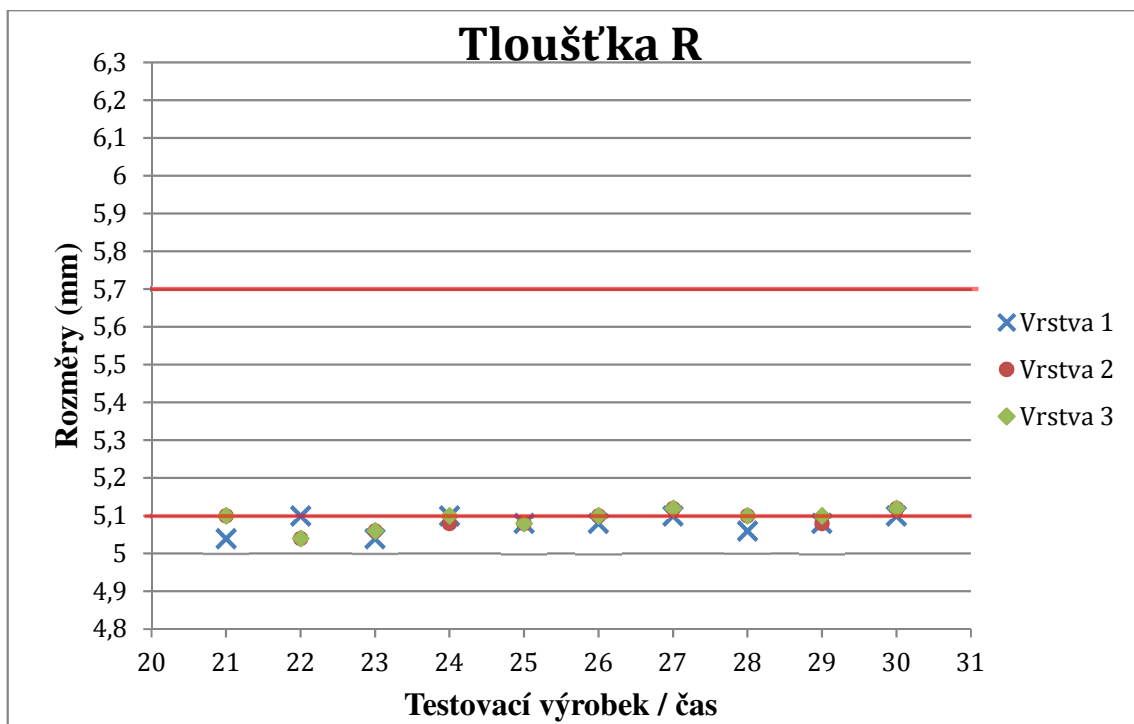
Obrázek 35 - Graf rozměrů stran N výrobku včetně tolerančního pole grafitu typu C



Obrázek 36 - Graf rozměrů stran O výrobku včetně tolerančního pole grafitu typu C



Obrázek 37 - Graf rozměrů stran P výrobku včetně tolerančního pole grafitu typu C



Obrázek 38 - Graf rozměrů tloušťky R výrobku včetně tolerančního pole grafitu typu C

Rozměrově strany všech 10 testovacích výrobků při použití topného tělíska z grafitu typu C nesplňují stanovené hodnoty tolerance až na shodné hodnoty ve vrstvě 2 u všech 10 testovacích výrobků. Rozměrově tloušťka u 8 testovacích výrobků při použití topného tělíska z grafitu typu C nesplňuje stanovené hodnoty tolerance až na shodnou hodnotu v jedné vrstvě u testovacího výrobků číslo 22 a 29 a dvou vrstvách u testovacích výrobků číslo 21, 24, 26 a 28. U testovacích výrobků číslo 27 a 30 byly splněny stanovené hodnoty tloušťky tolerance ve všech vrstvách. Rozměr stran testovacích výrobků ve všech vrstvách 1 i 3 však výrazně překročil rozměrové hodnoty tolerance.

Celkově všech 10 výrobků při použití topného tělíska z grafitu typu C nesplňuje všechny rozměrové hodnoty.



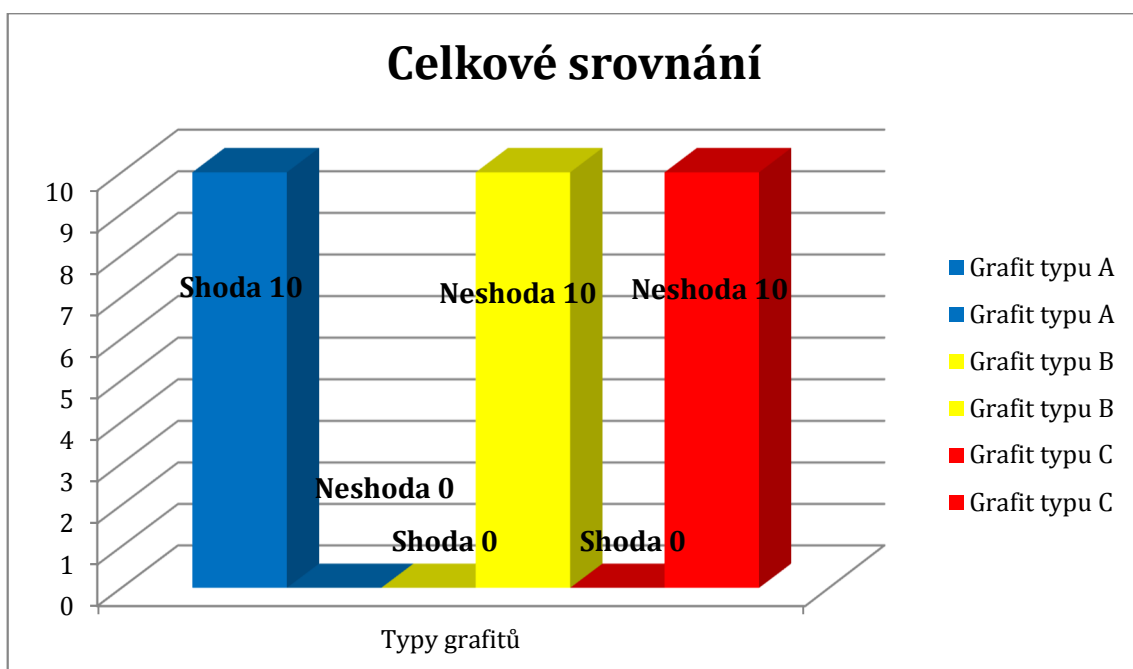
## 6 Vyhodnocení a doporučení k praktické aplikaci

Po provedeném testování výrobků při použití topných tělísek z grafitu typu A, B i C a jejich měření byly výsledky zapsány do tabulek. Z těchto hodnot byly sestaveny grafy, které znázorňují odchylky ze stanovené rozměrové tolerance.

Z grafu vyplývá, že u grafitu typu A splnily všechny testovací výrobky požadované rozměrové hodnoty ve stanovené toleranci.

U grafitu typu B všechny testovací výrobky nesplnily rozměrové hodnoty ve stanovené toleranci.

U grafitu typu C všechny testovací výrobky nesplnily rozměrové hodnoty ve stanovené toleranci.

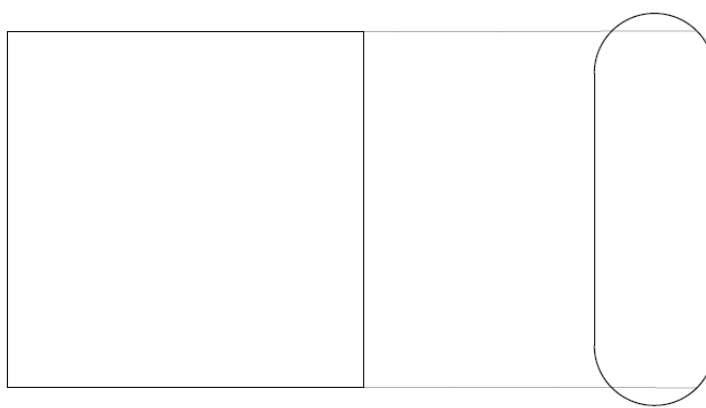


Obrázek 39 - Graf celkové vyhodnocení typu grafitu A, B a C

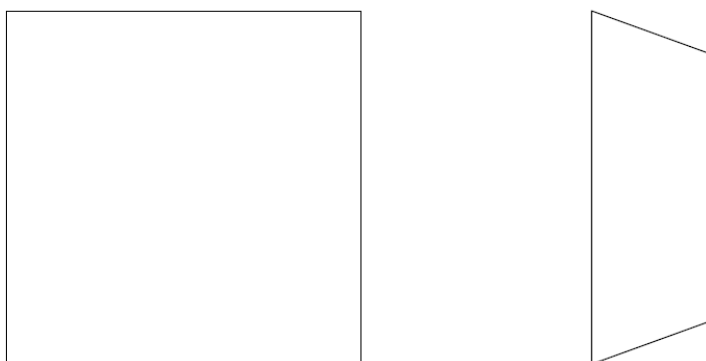
Testovací výrobky u jednotlivých typů grafitu měly po slinování odlišný tvar. U grafitu typu A byl tvar ve spodní plochy S mírně větší než horní plocha H (obrázek 40). U grafitu typu B byl tvar testovacího výrobku ve spodní a horní ploše přibližně stejný, ale střed výrobku – vrstva 2 - byla výrazně odlišná od ploch. U tohoto typu grafitu došlo k velkému roztažení do stran a tím se výrazně snížila celková tloušťka testovacího výrobku (obrázek 41). U grafitu typu C byl tvar ve spodní ploše S výrazně větší než horní plocha H (obrázek 42).



Obrázek 40 - Náčrt průměrného tvaru testovacích výrobků u typu grafitu A



Obrázek 41 - Náčrt průměrného tvaru testovacích výrobku u typu grafitu B



Obrázek 42 - Náčrt průměrného tvaru testovacích výrobku u typu grafitu C

Rozměry testovacích výrobků jsou důležité pro další výrobní operace, které následují po slinování. Topné tělísko, které nezaručí požadované vlastnosti, negativně ovlivní celý průběh slinování a tvorbu PCBN. Výsledný výrobek je tvarově odlišný od stanovených hodnot a je nevhodný pro další zpracování. I kvalita PCBN nesplňuje řezné vlastnosti budoucího výrobku. Tyto výrobky jsou z těchto důvodů vyřazeny z dalších výrobních operací. Výsledný výrobek by nesplnil toleranční hodnoty rozměrů dle stanovených norem nebo by nedosáhl požadované kvality při obrábění.

V průběhu testování nebyl žádný z testovacích výrobků rozdrolen nebo prasklý po slinování. Tvar výrobků byl pravidelný dle jednotlivých typů grafitu, jak je znázorněno na obrázcích 40, 41 a 42.

Výsledkem testování je doporučení, že pro proces slinování PCBN je vhodný jen grafit typu A. Splnil toleranční hodnoty ve všech stanovených měřeních u všech testovacích výrobků.

## 7 Závěr

Tato bakalářská práce řešila neshodu rozměrů výrobků při vysokotlaké syntéze - slinování CBN ve společnosti BONAR a.s.

V úvodu je seznámení se společností BONAR a.s., která mi poskytla informace o vysokotlaké syntéze CBN i slinování PCBN.

Ve společnosti BONAR a.s. pracuji již několik let jako brigádník v přípravě syntézy především o prázdninách. Problém neshod v rozměrech výrobků jsem zaznamenal při mé práci a zvolil jsem si ho jako téma mé bakalářské práce. Společnost BONAR a.s. souhlasila s provedením bakalářské práce, jen za podmínek utajení některých skutečností z vlastní technologie. Z toho vyplývá i menší počet použité literatury, protože jsem čerpal především z interních materiálů společnosti BONAR a.s. Pro prezentaci této bakalářské práce to má negativní dopad, protože není možné z utajených důvodů zveřejnit všechny poznatky, které jsem v průběhu získal. Údaje společnost BONAR a.s. řešila jen v rámci interních záznamů a jsou majetkem společnosti BONAR a.s. a nejsou přístupné veřejnosti.

Příprava topných tělísek z jednotlivých grafitů probíhala na pracovišti přípravy výroby a v rámci mé směny jsem se podílel na přípravě topných tělísek typu A. Vlastní testování proběhlo na zařízení vysokotlaké syntézy II v provozu v Šumperku ve dnech 5. 2. 2019 a 6. 2. 2019. Testování jsem se zúčastnil s pracovníky směny vysokotlaké syntézy II jednotlivých testovacích dnů.

Hodnocení a měření probíhalo na pracovištích zařízení vysokotlakých syntéz a na pracovišti výstupní kontroly provozu Šumperk. Hodnocení a měření jsem prováděl ve spolupráci s pracovníky těchto pracovišť. Hodnocení a měření bylo provedeno na zařízeních Mitutoyo Quick Vision Apex a Mitutoyo PJ-A3010F-200.

Po provedení vyhodnocení výsledků jsem zjistil, že vhodným typem pro řešení neshod rozměrů výrobků je možný typ grafitu A. Zbývající dva zvolené typy grafitu B a C jsou pro proces vysokotlaké syntézy – slinování CBN nevhodné. Navrhnul jsem, zařadit ještě jednu testovací sérii pro typ grafitu A v počtu 100 kusů testovacích výrobků, k ověření správnosti údajů bakalářské práce.

Doporučením typu grafitu A do výroby ve společnosti BONAR a.s. byl splněn cíl bakalářské práce najít a navrhnout řešení rozdílné velikosti výrobku u procesu vysokotlaké syntézy – slinování CBN.

## 8 Seznam použité literatury

- [1] Firemní katalogy BONAR a.s. <<http://www.bonar-as.cz/>>
- [2] Interní materiály BONAR a.s.
- [3] Kubický nitrid boru  
<<https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/03011.html>>
- [4] NESTUPA, Z. *Supertvrdé materiály*. Ostrava: ČVTS, 1989, 145s.
- [5] VELEBIL, D. Geologie, mineralogie a historie dolování. *Grafit* [online]. Vydání 2007-2008. Dostupné na < <http://www.velebil.net/mineraly/grafit>>